

**DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR
PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS TÉRMICAS DE LA UNIVERSIDAD
LIBRE – SEDE BOGOTÁ**

FREYNER CAMILO CARDENAS NONSOQUE

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2017**

**DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE
CALOR PARA EL LABORATORIO DE CIENCIAS TERMICAS DE LA
UNIVERSIDAD LIBRE – SEDE BOGOTA**

FREYNER CAMILO CARDENAS NONSOQUE código 065042051

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

**JORGE RENE SILVA LARROTTA
Ingeniero Mecánico**

**Línea de Investigación
Transferencia De Calor**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2017**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, esposa e hijo con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

También a mi tutor Ing. Rene Larrota quien ha tenido la paciencia y dedicación para poder concluir este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MARCO DE REFERENCIA	16
4.1 MARCO TEÓRICO	16
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	24
5. ESTADO DEL ARTE	26
6. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	29
7. DISEÑO METODOLÓGICO	29
8. RESULTADOS.....	32
8.1 INFORMACIÓN ACADÉMICA.....	32
8.2 ANTECEDENTES DE EQUIPOS	35
8.4 DISEÑO DE EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL.....	50
8.5 DISEÑO DE EQUIPO DE CONVECCIÓN.....	59
8.6 DISEÑO DE EQUIPO DE RADIACIÓN TÉRMICA	72
9. DISCUSIÓN	86
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXO	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ecuaciones de estado Estacionario y transitorio unidimensional y bidimensional.	19
Figura 2. Absortividad, reflectividad y transmitividad.	21
Figura 3. Diagrama De flujo Metodológico	30
Figura 4. Diseño Básico del equipo de conducción lineal	38
Figura 5. Diagrama de potencia máxima para temperatura de trabajo	39
Figura 6. Cargas Térmicas.	42
Figura 7. Creación de Malla. A) Malla parámetros iniciales B) Refinación de sensor C) Refinación de salida de agua.	43
Figura 8. Valor Residual de iteración.	43
Figura 9. Simulación del equipo en estado estacionario, a) temperatura de salida y b) Velocidad del fluido.	44
Figura 10. Simulación del sistema en estado estacionario.	44
Figura 11. Demostración de comportamiento lineal de equipo de conducción lineal	45
Figura 12. Diagrama de temperaturas de trabajo con controlador PID a 368.153 K (95.153 °C)	48
Figura 13. Señal modulada de control del equipo.	49
Figura 14. Diseño Básico del equipo de conducción lineal	52
Figura 15. Corte de la sección del tubo.	54
Figura 16. Creación y refinamiento de la Malla.	55
Figura 17. Cargas Térmicas.	56
Figura 18. Comportamiento de la temperatura en el equipo radial en estado estacionario (S_n : Distancia (mm), T: temperatura, Sensor, T_s : Temperatura de salida del agua, T_R : Temperatura máxima de la resistencia)	56
Figura 19. Temperatura de salida de agua refrigerante.	57
Figura 20. Velocidad del fluido refrigerante.	57

Figura 21. Comportamiento Lineal del equipo de conducción radial.....	58
Figura 22. Diseño básico y diagrama de cargas térmicas	62
Figura 23. Resistencia Tiramica.....	62
Figura 24. Diagrama de potencia permisible W/pulgada ²	63
Figura 25. Malla y elementos de entrada de cargas del equipo de convección.	67
Figura 26. Malla y elementos de entrada de cargas del equipo de convección.	67
Figura 27. Diagrama de escala residual de los modelos.	68
Figura 28. Flujo de aire por el ducto principal.	68
Figura 29. Flujo de aire por el ducto principal.	69
Figura 30. Diagrama de velocidad dentro de la superficie	69
Figura 31. Comportamiento de la temperatura en régimen desarrollado.....	70
Figura 32. Temperatura de la resistencia con flujo máximo del ventilador.	70
Figura 33. Comportamiento de la resistencia a 1m/s de velocidad de entrada del fluido	71
Figura 34. Diseño básico y diagrama de cargas térmicas del sistema	74
Figura 35. Esquema de recinto cerrado de tres superficies	75
Figura 36. Malla del sistema de equipo de Radiación.....	79
Figura 37. Diagrama de valores de Error térmico.	80
Figura 38. Temperatura de la probeta	80
Figura 39. Valores de convergencia mínimos de simulación en estado transitorio	81
Figura 40. Valores de convergencia máximos de simulación en estado transitorio	82
Figura 41. Perfil de temperaturas en Radiador de Calor.....	82
Figura 42. Temperatura del Radiador de Calor.....	83

Figura 43. Radiación térmica del Radiador de Calor.	83
Figura 44. Temperatura de Probeta.....	84
Figura 45. Radiación neta de la probeta	84
Figura 46. Radiación emitida de la probeta	85
Figura 47. Radiación reflejada de la probeta	85
Figura 48. Radiación absorbida de la probeta	86
Figura 49. Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Edibon- GUNT, Y Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Armfield.	94
Figura 50. Equipos de transferencia de Calor por Conducción. Univ. Pontificia Bolivariana y UNAL.....	95
Figura 51. Equipos de transferencia de Calor por Convección. DIKOLN- ARMFIELD.....	95
Figura 52. Equipos de transferencia por convección. UNAL – U. Pontificia Bolivariana B.manga.....	96
Figura 53. Equipos de Transferencia por Radiación. GUNT-ARMFIELD.....	96
Figura 54. Costos de equipos de convección, radiación y conducción. GUNT- ARMFIELD.....	97
Figura 55. FRIBRA DE VIDRIO	98
Figura 56. Dimensiones de Tornillos.....	99
Figura 57. Análisis de esfuerzo del Gancho de abrazadera de palanca.	101
Figura 58. Análisis de deformación del Gancho de abrazadera de palanca. ..	101
Figura 59. Esquema de sujeción para equipo radial.	102
Figura 60. Esquema de sujeción para soporte del sistema.	103
Figura 61. Elemento de sujeción para Termopila.....	105
Figura 62. Temperatura de sensores con estrada tipo STEP de 100% de la potencia nominal.....	106

Figura 63.Temperatura de salida del agua con estrada tipo STEP de 100% de la potencia nominal.....	106
Figura 64. Sistema de Diagrama de Bloques para Simulación de Comportamiento del Equipo de Conducción Lineal.	107
Figura 65.Temperatura sensores entrada tipo Step 100%	107
Figura 66. Diagrama de Bloques del Equipo de Conducción Radial.....	108
Figura 67.Temperatura de Resistencia Máxima	108
Figura 68. Radiación emitida de calor.....	109
Figura 69. Radiación emitida de calor.....	109
Figura 70. Radiación emitida de calor.....	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Edibon- GUNT, Y Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Armfield.	27
Tabla 2. Equipos de transferencia de Calor por Convección. DIKOLN-ARMFIELD	28
Tabla 3. Equipos de Transferencia por Radiación. GUNT-ARMFIELD.....	28
Tabla 4. Condiciones de operación del equipo de conducción lineal.....	36
Tabla 5. Diseño básico de equipo de conducción lineal	37
Tabla 6. Valores de la Malla.	42
Tabla 7. Valores de la ecuación de función de transferencia para cada uno de los sensores del equipo. (S: Sensor de temperatura puntos de evaluación, TS: Temperatura de salida del agua, TR: Temperatura de resistencia).	47
Tabla 8. Resultados obtenidos en simulación FEM y equipo con control PID. .	49
Tabla 9. Ventajas y Desventajas de Alternativas Para Aislamiento Térmico. ...	50
Tabla 10. Condiciones de operación del equipo de conducción Radial.	51
Tabla 11. Valores de la Malla.....	55
Tabla 12. Valores de las ecuaciones de transferencia. (S: sensor, TR: temperatura de resistencia, TS: temperatura salida)	58
Tabla 13. Condiciones de operación del equipo de conducción convección	60
Tabla 14. Diseño básico de equipo de conducción lineal	61
Tabla 15. Especificaciones técnicas del Ventilador.	64
Tabla 16. Parámetros de malla.	67
Tabla 17. Condiciones de operación del equipo de conducción lineal.....	72
Tabla 18. Diseño básico de equipo de conducción lineal	73
8.5.3.1 Factor de visión. El equipo utiliza el esquema de superficies planas con mismas áreas las cuales tienen un factor de visión, el cual es un coeficiente que muestra la proporción de radiación térmica que se está transmitiendo entre dos	

superficies. Los valores se remplaza la relación de lado y distancia con un valor de 0.4066	75
Tabla 19. Especificaciones de termopila o sensor de radiación.	76
Tabla 21. Especificaciones de Resistencia.	78
Tabla 21. Parámetros de malla.	79
Tabla 22. Cargas térmicas.	79
Tabla 23. Cargas térmicas	81

INTRODUCCIÓN

La universidad es una gran fuente de conocimiento dentro de la formación de cualquier profesional, donde encuentra las herramientas y tópicos efectivos para el crecimiento mental y creativo. La transferencia de calor es un tema importante en la formación profesional de un ingeniero, debido a que se puede analizar el comportamiento de un sólido, líquido, vapor o gas que esté expuesto a un ambiente en condiciones específicas, brindando la posibilidad al ingeniero de crear equipos o herramientas para solucionar una necesidad específica o mejorar el sistema ya existente.

En la actualidad la universidad libre presenta diferentes equipos de laboratorio para los alumnos, pero no tiene equipos específicos que faciliten en la práctica los fenómenos de transferencia de calor para que el estudiante demuestre la teoría aprendida.

En este proyecto se diseña y simula el comportamiento de 4 equipos de laboratorio para los fenómenos de transferencia de calor por conducción lineal, radial, convección y radiación para la Universidad Libre, dimensionando los elementos involucrados en el sistema térmico y validando el comportamiento de estos por medio de la utilización del software ANSYS y MATLAB, obteniendo los parámetros de trabajo de los equipos, materiales, planos y manuales de utilización de cada equipo.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La universidad libre en las carreras de Ingeniería Mecánica y Ambiental dentro de su pensum tiene las materias de termodinámica y transferencia de calor. En estas materias se estudia la conservación de energía y masa además de la eficiencia de los equipos térmicos, de igual forma se estudia los tres tipos de transferencia de calor como son conducción, convección y radiación, estos temas se presentan al estudiante de manera teórica debido a la falta de herramientas o equipos para estudiar de forma real los fenómenos estudiados. En la actualidad se han diseñado y construido equipos en las áreas de mecanizado, automatización y tratamientos térmicos, pero no existen antecedentes de diseños para esta área en específico.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere diseñar un sistema en donde el estudiante entienda de forma clara y precisa el fenómeno de la transmisión de calor en sus diferentes etapas, para esto se plantea el diseño de 4 equipos que permiten evidenciar de forma didáctica las características de cada proceso de la transferencia de calor y poder abordar de una forma práctica los fundamentos teóricos otorgados en la cátedra.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El mundo de hoy enfrenta un cambio crítico, para satisfacer las necesidades básicas humanas y depende de una adecuada fuente de energía basada en combustibles naturales, los cuales lamentablemente son una fuente finita.

El progreso realizado en estas áreas ha llevado al desarrollo de la transferencia de calor como una ciencia, por lo cual un conocimiento profundo de esta disciplina es de suma importancia para las ingenierías, porque mientras aparecen ideas cada vez más y más sofisticadas en la tecnología moderna, los fenómenos de transferencia de calor siempre estarán presentes. Es por esto que los fenómenos de transferencia de calor son fundamentales en la formación de estudiantes de ingeniería dado que dichos fenómenos se presentan en la mayoría de procesos industriales independientemente del área particular de la ingeniería.

Los laboratorios de Ingeniería de la Universidad Libre sede Bogotá, atendiendo a ésta necesidad no cuentan con dotación de equipos y recursos técnicos donde se practica la teoría de los principios de transferencia de calor y procesos industriales (conducción, convección y radiación), la ausencia de estas herramientas de aprendizaje deja un vacío de conocimiento, teniendo en cuenta que existe un mayor entendimiento cuando el estudiante observa no de manera abstracta los fenómenos estudiados, por tanto sería relevante complementar el proceso formativo en un laboratorio básico preliminar en donde el estudiante entienda los fenómenos de transferencia de calor antes de abordar los procesos.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como finalidad realizar el diseño de equipos sencillos que demuestren el proceso de transferencia de calor en forma práctica para los estudiantes de Ingeniería Mecánica, Ambiental e Industrial de la Universidad Libre de Colombia sede Bogotá, respecto a los fenómenos térmicos asociados a la transferencia de calor (conducción, convección y radiación), cuyo desarrollo es válido para optar por el grado de ingeniero mecánico.

Los diseños son planteados con tecnología de control y de instrumentación de tal manera que los equipos tengan un margen de error mucho más bajo, además se plantean una visualización clara de los resultados de modo que el estudiante entienda y lleve a la práctica los fundamentos entregados de forma teórica.

La implementación de este proyecto estaría encaminada al avivamiento de la capacidad innovadora e investigativa de la comunidad estudiantil, experimentando en el área de ciencias térmicas.

Por otra parte la adquisición de equipos de fábricas en el mercado le equivale una inversión de \$268.624.332 COP (Anexo 4) de la universidad, al implementar estos equipos se busca diseñar el equipo de una forma práctica sencilla y económica.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar equipos que demuestren los principios básicos de la transferencia de calor: conducción, convección y radiación, para el laboratorio de Ciencias Térmicas de la Universidad Libre Sede Bogotá.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir a partir de criterios académicos y fundamentos básicos los parámetros de diseño de los equipos de transferencia de calor que demuestren los fenómenos de conducción, convección y radiación.
- Investigar antecedentes y equipos existentes relacionados con la transferencia de calor, para definir de acuerdo con las alternativas disponibles, las dimensiones y material que formarían parte del diseño estructural de cada equipo ajustado a su efectividad funcional y espacio disponible en laboratorio.
- Evaluar alternativas de diseño de los equipos con criterios de ingeniería para determinar el diseño apropiado en cada caso.
- Realizar el diseño conceptual, básico y detallado con sus respectivos cálculos de ingeniería para cada diseño de equipo de transferencia de calor.
- Validar los diseños térmicos a partir de un programa de elementos finitos.
- Realizar los planos de construcción de los equipos diseñados junto con su manual Operativo.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Mecanismos de transferencia de calor. La Transferencia de calor se describe como el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor

temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente a la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado del segundo principio de la termodinámica.

El principio de conservación de la energía establece que “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma,” cuando existe interacción entre dos sistemas o entre un entorno y un sistema la energía al final debe ser la misma pero puede o no transformarse en otro tipo de energía, para un sistema cerrado que no cambia su masa puede presentar cambio de su temperatura interna por causa de salida o entrada de calor o por medio de un trabajo efectuado sobre el sistema.

$$Q = (E_2 - E_1) + W \quad (1)$$

$$E_2 - E_1 = Q - W \quad (2)$$

Los subíndices 1 y 2 representan el estado inicial y final, adicionalmente W es el trabajo realizado durante el proceso. Las anteriores ecuaciones establecen el cambio en la energía del sistema que es igual a la transferencia neta de energía al sistema.

Ahora bien, la transferencia de calor hacia el sistema se considera positiva, mientras que la transferencia de calor desde el sistema se torna negativa:

$$Q > 0 \quad Q < 0$$

La primera ecuación muestra la transferencia de calor hacia el sistema, mientras que la segunda muestra la transferencia de calor desde el sistema. Naturalmente, en virtud del principio de conservación de la energía, no se pierde, por lo que las anteriores ecuaciones se hacen a manera de convenciones.

La transferencia de calor depende de características específicas del material, fluido o vapor que se esté manejando estas características determinan la velocidad del flujo de calor transferido y las temperaturas del sistema.

Además de las características propias de cada material para facilitar o no la transferencia de calor, es necesario caracterizar el flujo de calor dependiendo del medio donde se genera. El calor se transfiere mediante conducción, convección y radiación, en muchos casos se pueden dar estos procesos simultáneamente.

4.1.1.1 Conducción. Es definida como “la transferencia de energía desde las partículas más energéticas de una sustancia a las partículas adyacentes menos energéticas por las interacciones entre las partículas”¹, es decir, la conducción es “el calentamiento directo de un material frío por otro caliente, al estar ambos en contacto.”²

La Ley de Fourier afirma que hay una proporcionalidad entre el flujo de energía q y el gradiente de temperatura.

$$q = -k\nabla T \quad (5)$$

Dónde:

q es el vector de flujo de calor por unidad de superficie.

K es una constante de proporcionalidad, llamada conductividad térmica.

∇T es el gradiente del campo de temperatura en el interior del material

Así, también se tiene en la forma integral.

$$\frac{dQ_x}{dt} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} = \int_x q * dx = -k \int_x \nabla T * dx \quad (6)$$

Donde κ es la propiedad de conductividad térmica, que se mide en $\frac{W}{K*m}$ y A es la sección transversal del elemento. El signo negativo, se da por el flujo de la energía en dirección a las temperaturas decrecientes.

En el caso del equipo de conducción lineal, se puede obtener la ecuación de estado teniendo las temperaturas de trabajo del equipo o simplificando un poco más estableciendo un cambio de temperatura entre dos puntos, este parámetro es fundamental debido a que la densidad de calor o calor por unidad de área que se transmite es igual para dos puntos específicos.

$$Q = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (4)$$

Dónde: Q = es la rapidez de transferencia de calor:

$Q/\Delta t$ k = conductividad térmica del material ($W/m^{\circ}C$).

A = Área de la sección transversal (m^2).

L = Longitud del elemento (m).

T = Temperatura ($^{\circ}C$).

Se puede establecer que el equipo tiene una temperatura inicial igual a la del ambiente, este sistema comienza a calentarse por medio de una fuente de calor, la temperatura del sistema aumenta hasta llegar a un punto donde no cambia la

¹ MORAN, Michael J., y SHAPIRO, Howard N. Óp. Cit. Pág. 58

² MACHADO, Tito; ROLDÁN, Gabriel; y VELÁSQUEZ, Luis F. Óp. Cit. Pág. 281

temperatura, estos parámetros son importantes en el funcionamiento del equipo de tal modo que se obtenga los valores de estabilización (conducción en estado estable) y cómo cambia la temperatura del equipo con el tiempo (conducción en estado transitorio).

Algunos casos debido a la necesidad específica se puede establecer que existe flujo de calor en una sola dirección llamado flujo unidimensional, muchos sistemas pueden ser analizados de esta forma teniendo soluciones aproximadas del real, debido a que los cambios de temperatura en otras dimensiones no son notorias y el calor que fluye es despreciable.

Por el contrario cuando esto no se cumple se debe analizar, utilizando diferentes sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas o esféricas, todas son más prácticas una de la otra de acuerdo a las características de forma del sistema.

A continuación se presentan las ecuaciones generales de estado para conducción lineal en estado estacionario y transitorio, unidimensional y en tres dimensiones con generación de energía.

Figura 1. Ecuaciones de estado Estacionario y transitorio unidimensional y bidimensional.

<p>1) Régimen estacionario: ($\partial/\partial t = 0$) $\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dT}{dr} \right) + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = 0$</p> <p>2) Régimen transitorio, sin generación de calor: ($\dot{e}_{gen} = 0$) $\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$</p> <p>3) Régimen estacionario, sin generación de calor: ($\partial/\partial t = 0$ y $\dot{e}_{gen} = 0$) $\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dT}{dr} \right) = 0$ o $r \frac{d^2 T}{dr^2} + 2 \frac{dT}{dr} = 0$</p>	<p>1) Régimen transitorio: (llamada ecuación de Poisson) $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}_{gen}}{k} = 0$</p> <p>2) Régimen transitorio, sin generación de calor: (llamada ecuación de difusión) $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$</p> <p>3) Régimen transitorio, sin generación de calor: (llamada ecuación de Laplace) $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$</p>
---	--

Fuente: Transferencia de calor de Cengel, capítulo 2.

4.1.1.2 Radiación. Otro tipo de transferencia de calor es la radiación térmica, la cual caracteriza la transferencia de energía a través del espacio sin que medien sustancias materiales puede tener lugar incluso en el vacío.”³, es emitida por la materia como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas en su interior. La energía se transporta mediante ondas electromagnéticas. Dependiendo de la superficie (si es sólida, líquida o gaseosa), ésta absorberá, emitirá y transmitirá radiación térmica en diferentes grados. En este caso, como en la conducción, aparece una propiedad específica

³ MORAN, Michael J., y SHAPIRO, Howard N.Óp. Cit. Pág. 58

de la materia que se denomina emisividad, la cual varía dependiendo del material e indica la eficiencia con que radia la superficie.

La rapidez con la que un cuerpo emite energía radiante es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Esto se conoce como ley de Stefan, y el modelo matemático que corresponde a ésta es:

$$P = \sigma.A.e.T^4 \quad (10)$$

Dónde: P = es la potencia radiada por el cuerpo en watts (o joules por segundo).

σ = es la constante $5,6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$

e = es la emisividad del material.

T = es la temperatura en °K.

Cuando un objeto está en equilibrio con los alrededores de éste, irradia y absorbe energía con la misma rapidez, su temperatura permanece constante⁴. Así la potencia neta radiada es igual a

$$P_{\text{neta}} = \sigma.A.e. (T^4 - T^4) \quad (11)$$

Dentro de esto se puede evidenciar que la Radiación se puede presentar en tres tipos de cuerpos que son en cuerpo negro, cuerpo gris y cuerpo blanco, los cuales se ubicarían en el diseño del equipo.

4.1.1.2.1 La radiación del cuerpo negro. Consiste en la luz que emite todo cuerpo caliente, tal como una estrella, el carbón que arde rojo incandescente en una estufa, la resistencia de una cocina eléctrica, entre otras cosas. La radiación del cuerpo negro llevó al desarrollo de las ciencias físicas y a una ruptura con los conceptos clásicos de la mecánica. Es el principio del rayo láser e igualmente del efecto fotoeléctrico. Este último se emplea en los detectores de movimiento que tienen las puertas de los supermercados y los bancos como mecanismo para hacer que sus puertas se abran solas ante la presencia de una o más personas

4.1.1.2.2 La Radiación del Cuerpo Blanco. A diferencia de los cuerpos negros, los cuerpos blancos son todos aquellos que reflejan la luz que les llega, de esta forma la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo blanco.

Por último se encuentra **La radiación del Cuerpo Gris** que es aquella en la que se refleja la mitad de la luz que le llega, es decir la mitad de la radiación es reflejada y la otra mitad es absorbida.

Para determinar el estado, forma y espacio del diseño del equipo de Radiación se tendrán presente los conceptos básicos que se implementaron anteriormente.

⁴ SERWAY, R. A. *Física*. México: McGraw Hill. 1990. p. 562.

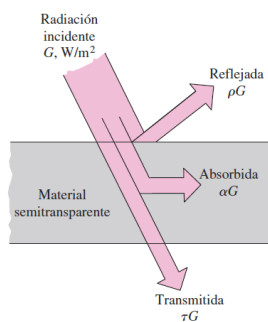
Teniendo en cuenta los anteriores conceptos y leyes de la radiación, para determinar en qué tipo de cuerpo, estado, forma y espacio se realizara el diseño se tendrá en cuenta los siguientes parámetros,

- Temperatura.
- Las condiciones Superficiales.
- Ángulos de Emisión.
- Longitud de Onda.

Como cada cuerpo que tiene una temperatura por encima del cero absoluto puede emitir radiación térmica de acuerdo a su coeficiente de emisividad, también se tiene diferentes características para absorber, reflejar y transmitir la energía que otro cuerpo está transfiriendo por radiación térmica.

4.1.1.2.3 Absortividad, reflectividad y transmitividad. Se presentan estas características cuando un cuerpo está expuesto a una radiación térmica, y como su nombre lo dice parte de la energía es absorbida, reflejada y transmitida.

Figura 2. Absortividad, reflectividad y transmitividad.



Fuente: Transferencia de calor de Cengel, capítulo 2.

Por lo tanto la energía de radiación es igual a la suma de estas tres características típicas de cada material.

4.1.1.3 Convección. Consiste en la transferencia de energía a través de un medio líquido o gaseoso que transporta el calor entre varias zonas de diferentes temperaturas. La convección, solamente se da en fluidos, pues se necesita el movimiento del material para que se transporte el calor.⁵ Existen dos clases de convección:

4.1.1.3.1 Convección libre. Es aquella transferencia de calor que ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando estos tienen diferentes temperaturas la cual se puede determinar por medio de la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton.

⁵ MACHADO, Tito; ROLDÁN, Gabriel; y VELÁSQUEZ, Luis F. Óp. Cit. Pág. 282

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (12)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección en un área específica con una temperatura de superficie de T_s y temperatura de corriente libre, esta transferencia de calor se presenta en todos los sistemas cuando un cuerpo tiene una temperatura diferente a la del ambiente. (Ref.17).

4.1.1.3.2 Convección forzada. Es la transferencia de calor cuando el flujo es causado por medios externos como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos que se puede dar, esta convección se puede dar de forma externa e interna.

El flujo interno de un fluido difiere con el externo por las características del flujo, debido a que el flujo interno está limitando a las paredes del ducto por donde fluye y se caracteriza o denomina por la influencia de la viscosidad en toda la extensión del flujo (Ref.17)

El coeficiente de transferencia de calor no es una característica propia de un fluido que se puede determinar de forma experimental que depende de la configuración geométrica de la superficie, las características de flujo, las propiedades del fluido y su velocidad, existen valores típicos de este coeficiente como de $2 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ a $25 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ para gases y $10 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ a $1000 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ para fluidos en convección libre de ahí en adelante se pueden tomar como convección forzada.

4.1.1.3.2.1 Características de flujo. Para poder caracterizar el comportamiento de transferencia de calor en convección interna se debe tener en cuenta el coeficiente de convección, el cual está definido por las características de flujo y el dimensionamiento del ducto, las características de flujo se determinan por el régimen del flujo caracterizado por el número de Reynolds el cual se puede determinar con la ecuación 13 (Ref.17).

$$Re = \frac{\rho V_{prom} L_c}{\mu} \quad (13)$$

L_c en convección interna se toma como la longitud del ducto. La velocidad es un flujo interno de acuerdo a al caudal de entrada o al flujo másico dentro del ducto, determinados por

$$V_{prom} = \frac{C}{A} \quad (14)$$

Donde C es el caudal (multiplicado por la densidad da el flujo másico), y se divide por el área transversal del ducto (A), en la convección interna

Otros parámetros importantes para caracterizar el flujo son el número Nusselt, el cual es un coeficiente adimensional de transferencia de calor y Prandtl el cual para muchos fluidos está tabulado dependiendo de la temperatura que se trabaje.

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (14), \quad Pr = \frac{\mu C_p}{K} \quad (15)$$

Utilizando la ecuación de Colburn se puede mejorar la precisión del número de nusselt modificándola con respecto al número de Reynolds y el de Prant.

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad (16)$$

Despejando de la ecuación 14 el coeficiente de convección y remplazando con el valor obtenido de la ecuación se obtiene el coeficiente de convección para transferencia de calor forzada interna.

4.1.2 Solución por elementos finitos. Los sistemas en general pueden tener ecuaciones diferenciales con varias variables que cambian con el tiempo y la distancia, y tienen unas condiciones de frontera, el análisis por elementos finitos, es una solución alternativa aproximada de la solución analítica en forma diferencial, el volumen de control del sistema es discretizado en elementos individuales que se aproximan colectivamente a la forma de la región (Ref. 27), estos elementos son llamados nodos que están unidos por que crean elementos finitos, que forman un triángulo o cuadrado, cubo o elementos tetrahedrales.

Utilizan el método explícito de solución cuando se está solucionando el sistema en régimen transitorio, evitando así el limitante del tamaño de intervalo de tiempo, usando interpolación polinomial, solucionando simultáneamente de ecuaciones lineales. Existen diferentes modelos de solución que utilizan el software para simular el comportamiento del sistema, en este proyecto se utilizan los modelos de energía, flujo turbulento para la solución de convección interna.

El modelo estándar k-e de Ansys Fluent es el modelo más utilizado y valido en régimen turbulento, El modelo estándar k-e es un modelo con respecto a número de ondas del fluido k y la tasa de disipación específica (e), a continuación se presentan los modelos de transporte de para el modelo k-e (Ref 18).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b + \rho \varepsilon + Y_m + S_k \quad (17)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon + C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (18)$$

$$c_1 = \max \left[0.43, \frac{n}{n+1} \right]; n = S \frac{k}{e}; S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (19)$$

Donde

G_k = Generación de turbulencia energía cinética

G_b = Generación de turbulencia energía cinética

Y_m = Representa la contribución de la dilatación fluctuante en turbulencia compresible a la tasa global de disipación

C_1 y $C_{1\varepsilon}$ = Constantes

σ_k y σ_ε = Son los números de Prandtl para k y ε

S_k y S_ε = Términos definidos por el usuario

Otro de los modelos utilizados para el desarrollo y síntesis es el de cantidad de movimiento, el cual se resuelve en todo el dominio, y se comparte el campo de velocidad con las fases, dependiendo de las propiedades de la densidad y la viscosidad cinemática.

$$\frac{\partial(\vec{V}\rho)}{\partial t} + \nabla(\rho\vec{V}\vec{V}) = -\nabla p + \nabla[\mu(\nabla\vec{V} + \nabla\vec{V}^T)] + \vec{g}\rho + \vec{F} \quad (20)$$

Dentro de este sistema también se tiene que resolver en el tiempo el cambio de la temperatura del sólido a medida que va perdiendo y ganando calor por alguna fuente o sumidero, de este modo la forma de solución de ANSYS es por medio de la ecuación de estado de energía, la cual tiene en cuenta la transferencia de energía debido a la conducción, difusión de especies y disipación viscosa, incluye el calor de la reacción química y cualquier otra fuente de calor volumétrica que se haya definido como se puede ver en la ecuación 43.

$$\frac{\partial(\vec{V}\rho E)}{\partial t} + \nabla(\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \left(k_{ff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau}_{ff} \vec{V}) \right) + S_h \quad (21)$$

4.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Calor específico:** Este parámetro se fundamenta en que cuan mayor sea el calor específico de una sustancia mayor es la cantidad de calor que absorbe para aumentar su temperatura, Un Ejemplo para medir el calor específico, consiste en introducir una cantidad de metal con una temperatura conocida en un recipiente con agua de diferente temperatura cuyo valor se conoce. Suponiendo que el conjunto está aislado, cuando se alcanza el equilibrio térmico el calor cedido por una de las sustancias es absorbida por la otra: Q_{ab} y Q_{de} se relaciona mediante la expresión $Q_{ab} = Q_{de}$
- **Densidad:** Se puede definir como la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia, la cual nos ayuda a especificar

que material es el idóneo para el diseño de los equipos, lo cual matemáticamente se puede definir como:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (22)$$

- **Difusividad térmica.** Caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una solicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = k / (\rho \cdot C) \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (23)$$

- **Resistencia térmica.** Su definición matemática es:

$$R_T = \frac{\text{cambio en la diferencia de temperatura}}{\text{cambio en el flujo de calor}} = \frac{dT}{dq} \quad (24)$$

El flujo calorífico transmitido de un cuerpo a otro será igual a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos sobre la resistencia térmica.

- **Capacitancia térmica.** La capacitancia térmica muestra el nivel de capacidad que tiene una sustancia en almacenar calor. La capacitancia térmica se define como la relación entre calor entregado a una sustancia y la variación de temperatura producida, lo que matemáticamente expresado sería:

$$C_T = \frac{\text{cambio en el calor almacenado}}{\text{cambio en la temperatura}} \quad (25)$$

La potencia térmica, definida por la capacitancia o inercia térmica y la variación de la temperatura con el tiempo puede ser expresado como:

$$q = C_T T \quad (26)$$

En este sentido, la capacitancia térmica se relacionará con la masa de la sustancia que almacena el calor, m, con su calor específico, c. Expresado de la siguiente manera:

$$C_T = mc \quad (27)$$

- **Ley de KirckChoff.** Se cumple que la capacidad que tiene un cuerpo con un determinado valor de emisividad a una temperatura específica es igual a la radiación que absorbe un cuerpo negro a esa misma temperatura.

- **Ley de distancia de Lambert.** Esta ley afirma que la capacidad de radiación de un cuerpo con otro disminuye con el cuadrado de la distancia.

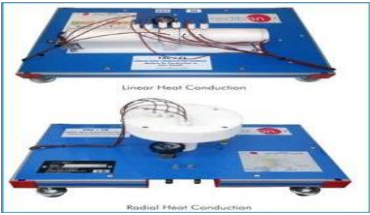


5. ESTADO DEL ARTE

Existen diferentes equipos realizados en universidades, como también existen equipos de marcas ya consolidadas que tienen toda la tecnología y herramientas para un excelente manejo del estudiante aunque tienen valores altos de adquisición

Como se observa en el anexo 1, se muestra el equipo por conducción lineal de la universidad nacional de Colombia el cual cuenta con un módulo lineal de conducción y un módulo de recepción de señales, se puede observar que es un cilindro calentado por una resistencia tubular utiliza elemento de instrumentación análoga para la visualización de los datos, por otro lado en la universidad Pontifica de Bucaramanga se construye un equipo de conducción lineal el cual puede obtener conductividades térmicas de materiales, realizar pruebas de conducción transitoria y evaluación de resistencias térmicas.

Existen equipos de fábricas consolidadas en el mercado en la fabricación de equipos de laboratorio, en la tabla 1 se muestran algunas características de los fabricantes para conducción lineal. Los precios de estos equipos son muy altos teniendo como referencia el valor del equipo de conducción lineal del fabricante GUNT 372 equivalente a \$80.288.700 COP (ver Anexo 4)

Tabla 1. Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Edibon- GUNT, Y Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Armfield.



CONDUCCION		
PROVEEDOR Y FABRICANTE EDIBON	1. Este equipo dispone de dos montajes experimentales por separado. 2. Posee 8 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas en distintas configuraciones. 3. Estructura en aluminio anodizado y panel de acero pintado electrostáticamente, con 19 sensores de precisión en el primero y 8 en el segundo, sumado a un control computarizado con software SCADA	 <p>1. Unidad de Conducción de Calor Controlada desde Computador (PC) "TxC/CL y TxC/CR".</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE G.U.N.T	1. Tiene un montaje compacto que incorpora las dos configuraciones de análisis radial y lineal. 2. Posee 6 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas. 3. Está diseñado con una sola estructura base en chapa metálica de acero y panel de control de acero pintado electrostáticamente. 4. Posee 9 puntos de medición en conducción lineal y 6 puntos de medición en conducción radial.	 <p>2. Unidad WL 372 de Transferencia de Calor por Conducción13</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	1. Tiene dos montajes experimentales por separado el primero tiene 19 componentes y el segundo 13 elementos. 2. posee 10 ejercicios para comprobación de teorías termodinámicas en distintas configuraciones. 3. Se basa por separado en acero pintado electrostáticamente y módulos de control de chapa metálica pintado electrostáticamente. 4. Posee 8 puntos de medición en conducción lineal y 6 puntos en conducción radial	 <p>3. Unidad HT11 Conducción de Calor lineal 4. unidad HT12 de conducción de calor radial .</p>

Fuente: Autor del proyecto

Otro concepto de interés es la transferencia por convección, también es solucionado en las aulas de la universidad nacional por medio de un flujo de agua en una tubería galvanizada cumpliendo la teoría "a mayor presión aumenta la temperatura" permitiendo tener mediciones en diferentes puntos (Anexo 2), por otra parte la universidad Pontifica de Bucaramanga también fabrico un equipo que permite calcular el coeficiente promedio de transferencia de calor por convección entre el flujo inducido de aire y tres arreglos geométricos diferentes, se determina el coeficiente promedio de transferencia de calor, y su visualización y adquisición de datos se genera por medio de sensores PT100 y un anemómetro de turbina, este equipo es muy similar al GUNT 352, además que este demuestra los mismos fenómenos de transferencia de calor

A continuación se presenta algunas características del equipo de convección de fabricantes consolidados en el mercado además del equipo GUNT el cual presenta un valor de \$76.940.700 COP (Anexo 4)

Tabla 2. Equipos de transferencia de Calor por Convección. DIKOIN-ARMFIELD

CONVECCION		
FABRICANTE Y PROVEEDOR DIKOIN	<p>Posee 9 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas.</p> <p>Soporte en perfil estructural de acero, ducto en chapa metálica con pintura electrostática y calefactores en aluminio.</p> <p>Tiene dos sensores de temperatura superficial. un sistema electrónico de adquisición de datos con ordenador con pantalla táctil.</p>	 <p>1. Unidad IT 03.2 Transmisión de calor por convección natural y forzada</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	<p>Posee 10 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas.</p> <p>Base de soporte en chapa plástico, ducto en chapa metálica de acero galvanizado y calefactores en aluminio.</p> <p>Dos sensores de temperatura superficial y un sistema electrónico de adquisición de datos con manejo por software (ArmSoft) en conexión con un PC.</p>	 <p>2. Unidad HT19 Intercambiador de calor por convección libre y forzada</p>

Fuente: Autor del proyecto

Indagando más en los equipos ya existentes se puede encontrar soluciones al fenómeno de transferencia de calor por radiación, la utilización de los materiales y sensores es fundamental para el laboratorio, muchos de los cuales utilizan fuentes térmicas y lumínicas en los equipos.

Estos tipos de equipos no son muy implementados en las universidades ya que no se obtuvo mucha información de fabricación por dichas instituciones, por otro lado los fabricantes consolidados se puede observar algunas características de sus equipos los cuales están alrededor de \$74.343.300 COP.

Tabla 3. Equipos de Transferencia por Radiación. GUNT-ARMFIELD.

RADIACION		
FABRICANTE Y PROVEEDOR G.U.N.T	<p>1. Posee 6 ejercicios prácticos y una combinación de ensayos soportados por software.</p> <p>2. Estructura en aluminio y soportes de acero pintado, posee placas para ensayo en materiales específicos para estos, soportado por un sistema de cómputo que emplea el software GUNT y elementos suplementarios como filtros, sensores y luxómetro</p>	
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	<p>1. Posee 7 ejercicios prácticos y una combinación de ensayos soportados por software para éstos. estructura en aluminio y soportes de acero pintado tiene placas para ensayo en materiales específicos.</p>	 <p>Unidad HT13 Transferencia de calor radiante</p>

Fuente: Autor del proyecto

6. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

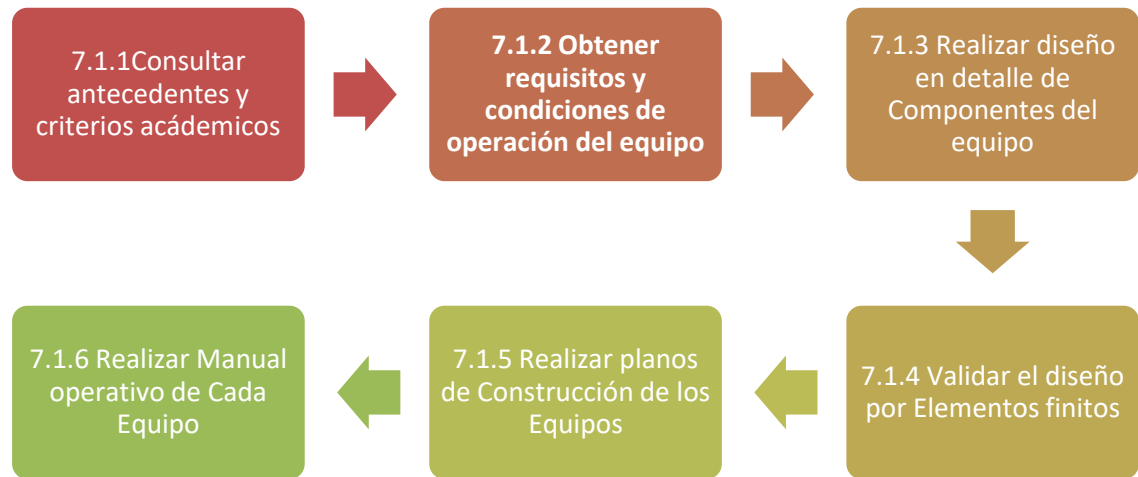
- Delimitación geográfica: éste proyecto de grado se llevará a cabo en la Universidad Libre de Colombia- sede Bogotá.
- Delimitación temporal: tendrá como tiempo estimado máximo para la elaboración del proyecto doce meses contados a partir de la aprobación del anteproyecto.
- Destino final: Universidad Libre de Colombia sede Bogotá.
- Los diseños a desarrollar permitirán demostrar los fenómenos de conducción, convección forzada y radiación.
- El diseño de cada equipo se realizará de acuerdo a los parámetros que se establezcan con cada fenómeno mencionado, teniendo en cuenta los criterios académicos y sus respectivos principios fundamentales.
- Los instrumentos de control y sus sistemas estarán centrados en indicadores de temperatura.
- Se usará geometría estable, unidimensional, cilíndrica y pared plana para los diseños.
- Cada diseño térmico se verificará con un programa de elementos finitos.
- No existe ninguna limitación legal o de otro tipo que se pueda presentar en el desarrollo de los diseños propuestos.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 ETAPAS DEL PROYECTO

A continuación se presenta en un diagrama de flujo la metodología utilizada para cumplir con los objetivos propuestos del proyecto y el alcance que esté proyecto tiene.

Figura 3. Diagrama De flujo Metodológico



Fuente: Autor del proyecto

7.1.1 Recolección de información. Se define a partir de criterios académicos y fundamentos básicos los parámetros de diseño de los equipos de transferencia de calor que demuestren los fenómenos de conducción, convección y radiación. A continuación se presentan los pasos que se siguió para obtener la información

- Estudio del contenido programático de las asignaturas del área en diferentes universidades.
- Estudio bibliográfico de los conceptos de los principios de transferencia de calor.
- Asesoría de especialistas en el área de transferencia de calor y termodinámica para definir el proceso aplicado al laboratorio.
- Investigación de antecedentes y equipos existentes relacionados con la transferencia de calor, para definir de acuerdo con las alternativas disponibles, las dimensiones y material que formarían parte del diseño.

7.1.2 Obtener Requisitos y condiciones de operación del equipo

- Determinar los requisitos del equipo utilizando la información académica y de antecedentes de los equipos.
- Dar valor de condiciones de operación de acuerdo a las necesidades del equipo y requerimientos de los laboratorios de la Universidad Libre
- Realizar el diseño básico del equipo

7.1.3 Realizar diseño en detalle de los componentes de equipo. Se realiza el dimensionamiento, selección de materiales y características del equipo a partir de la realización de un diagrama térmico del sistema, el flujo de calor en el sistema y sus cargas térmicas, presentando las suposiciones y limitaciones para llegar al diseño. Se caracteriza el sistema determinando el valor de las variables no conocidas por medio de procedimientos analíticos.

7.1.4 Validación de componentes y valores encontrados de forma analítica. Con la utilización de software se comprueba si el comportamiento que se especifica en el diseño en detalle es válido, además de obtener valores de variables complejas de demostrar analíticamente.

- Modelar el sistema en SolidWorks, obteniendo el volumen de control y componentes importantes para la simulación.
- Crear malla utilizando el software ANSYS obteniendo el modelo y el volumen de control, refinando las zonas con mayor interés en el sistema.
- Realizar la solución en estado estacionario o transitorio, dependiendo del objetivo del equipo según sea la necesidad para validar el comportamiento del equipo utilizando las herramientas FLUENT, Steady-state Thermal o Transient de ANSYS.
- Generar diagrama de bloques y control básico del sistema (si es necesario) para demostrar si el equipo se comporta como se desea utilizando IDENT y Simulink de MATLAB.
- Interpretar resultados.

7.1.5 Realizar los planos de construcción de los equipos diseñados. Se realiza el plano de los componentes diseñados basados en las normas UNE-EN ISO 7200 Documentación técnica de productos, disposición de nombre de títulos, UNE-EN ISO 5457 Formato y representación de los elementos gráficos de la hoja de dibujo y UNE-EN ISO 3098-Parte 0, Requisitos generales.

7.1.6 Realizar manual operativo de cada equipo de diseño. Se genera una guía de laboratorio con un contenido definido: Introducción, marco teórico, objetivos, procedimiento, recolección de variables, análisis de resultados, etc.

8. RESULTADOS

8.1 INFORMACIÓN ACADÉMICA

Estudiante debe comprender los fenómenos de transporte calórico con lo cual adquiere habilidades necesarias para desarrollar su labor profesional. A continuación se analizará la metodología de enseñanza de algunas universidades en el área de transferencia de calor, determinando los conceptos y requisitos que se requieren.

8.1.1 Universidad Militar Nueva Granada. Esta academia busca que sus estudiantes entiendan la transferencia de calor mediante conducción, convección y radiación, estos conceptos se hacen llegar mediante la teoría y la experimentación en laboratorios, los cuales se ven en el quinto y sexto semestre, con esto se asegura que el estudiante entienda de manera eficiente los conceptos dados.

Para la primera práctica conducción el estudiante debe hallar la temperatura en función de la distancia tomando diferentes distancias.

Determinar el valor experimental de conducción térmica (K), de un determinado material y compararlo con su valor teórico.

Determinar la distribución de temperaturas en la barra de sección cónica y comparar con las temperaturas tomadas

8.1.1.1 Transferencia De Calor Por Radiación. Identificar la cantidad de calor emitido de un cuerpo a otro mediante ondas electromagnéticas así como hallar el coeficiente de absorptancia, fracción reflejada como absorptancia, valor de emisividad del cuerpo receptor, y luego dependiendo del valor de absorptancia y absorptancia determinar el tipo de material del cuerpo receptor.

8.1.1.2 Transferencia De Calor Por Convección. En esta práctica el estudiante debe determinar el valor de h coeficiente de convección y Q_c calor de entrada. En el laboratorio para luego comparar con los valores teóricos y evaluar que tan precisos son los datos.

8.1.2 Universidad Libre De Colombia. En la universidad se da la cátedra de transferencia de calor en el sexto semestre, en la materia solo se da la teoría, ya que no se cuenta con un laboratorio en donde se pueda experimentar este conocimiento.

Los temas que se dan a conocer son conducción, convección y radiación.

En conducción se dan a conocer los siguientes temas: Ecuación básica de energía. Placa plana. Sistemas radiales. Conducción con conductividad térmica variable. Condiciones de contorno con convección. Coeficiente global de transferencia de calor. Espesor crítico de aislamiento. Sistemas con generación de calor. Transferencia de calor desde aletas.

8.1.2.1 Convección. Capa límite hidrodinámica, Capa límite laminar en una superficie en una superficie plana isotérmica, Ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía, Capa límite térmico, Número de Nusselt y coeficiente de transferencia de calor, Analogía entre la transferencia de calor y la fricción, Transferencia de calor en una placa plana con convección forzada en régimen turbulento, Procedimiento de cálculo en convección forzada para flujo sobre placas planas, Flujo por el interior de tubos, Flujo a través de conductos no circulares, Flujo transversal a cilindros, Flujo a través de haces de tubos.

8.1.2.2 Radiación. Espectro electromagnético. Propiedades y definiciones, Radiación del cuerpo negro, Potencia emisiva total y poder emisivo monocromático, Superficies reales y cuerpo gris, Intercambio de calor entre cuerpos negros, Factor de forma, Métodos gráficos. Analogía eléctrica, Intercambio de calor entre cuerpos grises, Analogía eléctrica, Pantallas de radiación, Radiación. Al final de cada uno de los temas se solucionan algunos problemas con lo cual se pretende comprobar el buen aprendizaje del estudiante.

8.1.3 Tecnólogo De Monterrey. (México). El aprendizaje en esta academia se basa en lo teórico-práctico, con lo que se busca que el estudiante desarrolle habilidades analíticas y experimentales, con lo cual conocerá y evaluará experimental y teóricamente las distintas maneras de transferir calor.

Los temas que se darán a conocer son conducción y convección.

En conducción se busca que el estudiante con la teoría dada, en la práctica determine la conductividad térmica del material de manera experimental, partiendo del perfil de temperaturas de la geometría en cuestión y compararlo con el dato teórico y obtenga la resistencia térmica del contacto.

En convección el estudiante recibe la teoría y luego debe determinar el coeficiente de transferencia de calor h , de manera experimental, así como hallar y analizar que tanto influye la densidad, la viscosidad, la conductividad térmica, el calor específico, la geometría de la superficie y las condiciones de flujo en el coeficiente de calor, y obtener el flujo másico que se transfiere por el sistema.

8.1.4 Universidad Gran Mariscal De Ayacucho. Esta universidad busca que sus estudiantes entiendan los fenómenos de transferencia de calor por medio de la práctica, para esto cuenta con un laboratorio e donde se puede realizar los ensayos de transferencia de calor por conducción y radiación.

La metodología utilizada es teórico-práctica en donde se le da al estudiante los conceptos y además se desarrollan ejercicios para luego ser llevados al laboratorio y poder comparar los datos.

Las prácticas realizadas son: hallar la transferencia de calor por radiación utilizando diferentes tipos de materiales como receptor, y variando la cantidad de potencia de entrada e identificando los factores que influyen en la toma de los registros.

En convección se busca hallar la transferencia de calor al pasar un fluido con cierta velocidad sobre una superficie que se encuentra a diferente temperatura.

8.1.5 Universidad Nacional. Muestran el contenido programático para que se obtenga el concepto y manejo de las relaciones matemáticas de las cuales se realiza la transferencia de calor.

Los temas que abordan en el contenido de conducción son: Ley de Fourier, conductividad térmica, ecuación general de conducción, flujo unidimensional, conductividad térmica variable, aplicación de placas, cilindros y esferas, flujo de calor con generación interna, flujo en estado transitorio.

En la transferencia por convección abarcan conceptos como convección forzada y libre, ecuaciones diferenciales de convección, caracterización de flujo con número de Nusselt, Reynolds y Prandtl, convección forzada interna, flujo a través de placas planas y banco de tubos.

Por último para transferencia de calor por radiación se presenta, Ley de Stefan Boltzmann, intensidad de radiación, efectos espectrales, determinar propiedades de la radiación, radiación entre superficies y su factor de forma, intercambio de calor en superficies difusas grises y opacas, método de cálculo directo de la efectividad. (ref.29)

8.1.6 Universidad tecnológica de panamá. Presenta un programa para los cursos de cuarto año con prerrequisito de termodinámica, con conducción en paredes planas, generación interna, radio crítico, superficies extendidas, conducción bidimensional en régimen transitorio, método numérico implícito.

Para el tema de convección se presenta la definición de capa límite, convección natural en espacios horizontales y verticales no presenta más información de convección.

Por otro lado se puede ver el contenido en transferencia de calor por radiación con propiedades de superficies negras, superficies reales, factor de vista, reciprocidad, analogía eléctrica (Ref. 30)

8.1.7 Universidad central del Este. Esta universidad muestra su contenido programático para la clase de transferencia de calor

Para conducción lineal. Tiene el estudio de conducción unidimensional en estado estable, conducción de calor a través de pared plana, conducción radial, radio crítico, conducción en estado transitorio.

Por otro lado en convección se estudia durante el programa los mecanismos físicos de la convección forzada, en flujo laminar y flujo turbulento, convección sobre una placa plana, flujos a través de bancos de tubos

El contenido presenta también estudios en radiación abarcando temas como determinar la radiación térmica en cuerpos negros y grises, determinación de

propiedades de los materiales en radiación térmica y blindajes contra la radiación y efecto de la radiación

No presentan laboratorios ni contenidos prácticos toda la información la presentan teóricamente al estudiante (Ref. 31)

8.2 ANTECEDENTES DE EQUIPOS

De acuerdo a la información obtenida de los equipos fabricados por universidades y por empresas consolidadas en la fabricación de equipos de laboratorio se obtiene información características fundamentales de los equipos y funcionamiento. (Ver 5. Estado del arte).

8.3 EQUIPO DE CONDUCCIÓN LINEAL

8.3.1 Requisitos de equipo de conducción lineal. De acuerdo los temas abordados en cada universidad, la indagación de profesionales con experiencia en el campo y antecedentes de equipos fabricados, se puede establecer requisitos académicos y de funcionamiento.

Equipo de Transferencia de calor por Conducción Lineal:

- Debe mostrar el comportamiento de conducción lineal y Radial del sistema en un diferencial de temperatura.
- Obtención de Conductividad térmica.
- Caracterización de Conducción lineal con diferentes materiales y dimensiones.
- Caracterización del cambio de conductividad con diferentes temperaturas del equipo.
- Fácil interpretación de datos del equipo.
- Práctica y de fácil utilización.

Equipo de Transferencia de calor por Radiación Térmica:

- Determinar Coeficiente de emisividad de material receptor
- Determinar Coeficiente de Absortividad y Reflectividad
- Generar Radiación térmica entre dos cuerpos
- Demostrar la ley de Lambert
- Demostrar ley de Sthephan Boltzmann

Requisitos para todos los equipos:

- El equipo debe presentar confiabilidad en las mediciones experimentales
- El funcionamiento del equipo es acorde a las instalaciones eléctricas y de agua del Laboratorio de la Universidad Libre
- El equipo debe tener bajo costo.
- Debe presentar un pequeño tamaño para su fácil manipulación
- Debe garantizar la seguridad del estudiante
- No tener un alto peso

8.3.2 Condiciones de operación. El equipo debe cumplir algunas condiciones de operación

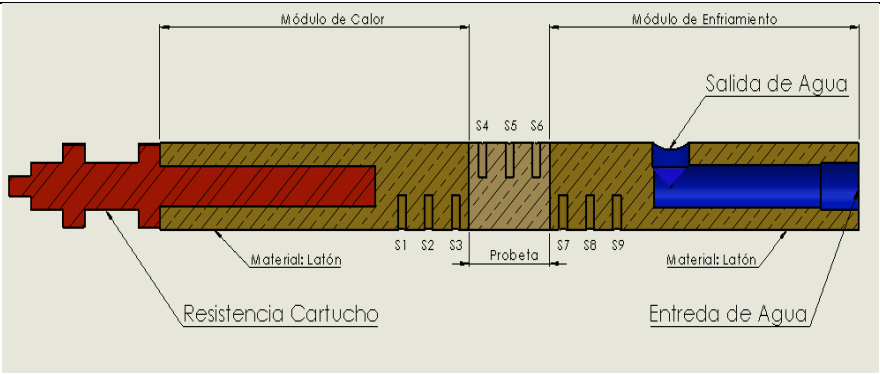
Tabla 4. Condiciones de operación del equipo de conducción lineal.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Potencia	150 W	Se toma como potencia máxima, se va a diseñar el equipo de modo que la potencia requerida para obtener el diferencial de temperatura máximo sea menor a esta potencia. Sobredimensionando el equipo se puede garantizar que el tiempo de estabilización es menor. De acuerdo al comportamiento del equipo se puede subir o bajar o dejar igual está potencia máxima
Voltaje de trabajo (V)	220	Los laboratorios de la universidad pueden entregar 220 V
Temperatura Máxima (°C)	120	Esta es la temperatura máxima deseada en la fuente de calor, ya que la resistencia es la zona que se presume que va a tener una mayor temperatura, se utiliza este valor de tal manera que el equipo no requiera de un espesor muy grande de aislamiento para garantizar la seguridad del estudiante. Para el cumplimiento del equipo no es necesario tener temperaturas altas para demostrar el fenómeno.
Diferencial de temperatura Máximo (°C)	60	Teniendo en cuenta la temperatura máxima de la fuente de calor y que la temperatura ambiente promedio es de 17°C (Ref. 14), este da un intervalo de temperatura de 103°C, la diferencia de temperaturas de 60°C está dentro de este intervalo y se toma como valor inicial, debido a que si se usa un intervalo mayor cercano a 103°C, se puede presumir que la temperatura máxima de la fuente de calor aumentará y se requerirá mayor potencia.
Caudal de enfriamiento (l/min)	3	Esté valor es entregado por el laboratorio de la universidad libre

Fuente: Autor del proyecto

8.3.3 Diseño básico del equipo de conducción lineal.

Tabla 5. Diseño básico de equipo de conducción lineal

	
Componente	Descripción
Resistencia Cartucho	Se selecciona este tipo de resistencia por su facilidad de colocación, amplio rango de densidad de potencia, fácil fabricación
Módulo de Calor	Con diámetro exterior de 25,4 mm de latón C22000 como material conductor. Debido a que su conductividad térmica es media con respecto otros materiales con conductividad térmica alta y baja, por otro lado se adquiere fácil en el mercado y presenta un fácil mecanizado.
Probeta	<p>Probeta 1: Ø 25,4 mm de latón , para demostrar la conducción lineal en estado estacionario</p> <p>Probeta 2: Ø 25,4 mm de cobre, para la valoración de la conductividad térmica en distintos materiales.</p> <p>Probeta 3: Ø 12.7 mm de latón, para demostrar cómo cambia el flujo de calor y la conductividad térmica con respecto a la geometría de la probeta.</p> <p>Todas las probetas tienen una longitud de 30 mm.</p>
Módulo de enfriamiento	<p>Presenta las mismas características de dimensionamiento y materiales del módulo de calor.</p> <p>Se utiliza un ducto en L debido a su fácil mecanizado, para obtener el área adecuada de transferencia de calor entre el latón y el agua.</p>
Sensores (S1 a S9)	Los sensores tienen una separación de 10 mm donde se evidencia el cambio de temperatura con respecto a la distancia y que no afecte la medición de cada uno de los sensores.

Fuente: Autor del proyecto

8.3.4 Diseño en detalle de equipo de conducción lineal. Se debe generar un diagrama térmico, donde se identifiquen cada una de las variables de importancia, el flujo del calor y las suposiciones para poder resolver el sistema.

Figura 4. Diseño Detalle del equipo de conducción lineal

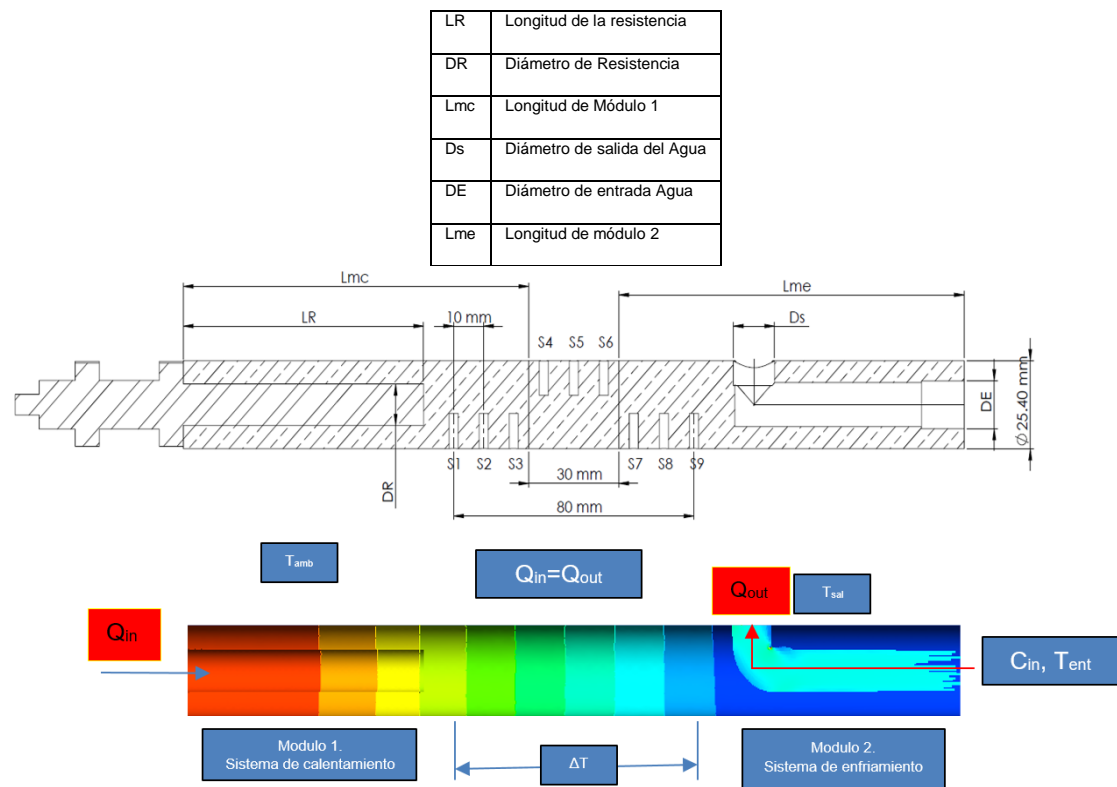


Diagrama de flujo

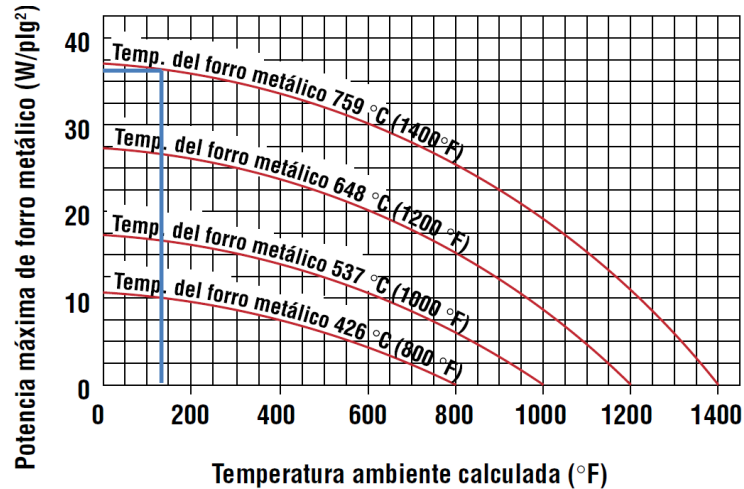
Fuente: Autor del Proyecto

La resistencia transmite energía en forma de calor (Q_{in}) hacia el equipo calentando el módulo 1, este calor se transmite por todo el equipo hasta llegar al módulo 2 donde fluye agua a 3 l/m (C_{in}) con una temperatura promedio de 17°C (T_{amb}) y absorbe todo el calor de la resistencia (Q_{out}), aumentando su temperatura en la salida del equipo (T_{sal}). Los sensores (S1 a S9) registran y envían la información de la temperatura a cada instante la cual va en aumento hasta llegar a su máximo de temperatura generando un diferencial entre el sensor 1 y el sensor 9 (ΔT). Se asume que el restante de caras del cilindro de latón está es adiabático con respecto al ambiente.

8.3.5 Resistencia eléctrica tubular. La resistencia tubular o de cartucho está constituidas por un alambre de níquel-cobre, este es enrollado en forma espiral sobre un cilindro cerámico, tiene una camisa de acero inoxidable externo que está aislado eléctricamente del alambre por medio de óxido de magnesio, el cual cuenta con una gran conductividad térmica. Las densidades de potencia de la resistencia cartucho están con un máximo de 60000 W/m² (Ref. 23 y 24).

Teniendo como parámetro nominal la potencia de entrada se puede determinar la longitud y diámetro adecuados para la resistencia, en la figura 6 se muestra un diagrama de densidad de potencia

Figura 5. Diagrama de potencia máxima para temperatura de trabajo



Fuente: Guía de selección de potencia. **Chromalox Technical Documents.**

La temperatura ambiente en el diagrama requiere la mitad de la temperatura de trabajo del equipo 120°C (248°F), este valor se cruza con la línea de comportamiento de forro metálico, en general las resistencias utilizan camisas de acero inoxidable AISI 304 para trabajos máximos de 759°C (1400°F), existen otros tipos de materiales con mayor o menor capacidad de temperatura máxima, pero se utiliza este material debido a que es el más común encontrado en las resistencias. Como se observa en la figura se obtiene una densidad de potencia máxima de 36 W/in² (55800 W/m²), que la temperatura de trabajo sea mucho más baja que la máxima da un aumento en la vida útil de la resistencia.

Una vez obtenido el máximo de densidad de potencia se selecciona en catálogos la resistencia adecuada cercana a 150W y 36 W/in² (55800 W/m²), seleccionando una resistencia de 12 mm de diámetro con 80 mm de longitud, con una potencia de 160 W y 52053 W/m² (Ref. 24, Ref.32 Fabrica Electro salgado S.A Bogotá). Teniendo en cuenta la distancia de sensores previamente dicha de 10 mm, se puede obtener la longitud total del módulo 1, el cual es la suma de la longitud de la resistencia la distancia de dos sensores, dejando una dimensión de 10 mm entre el sensor 1 y la resistencia, obteniendo una longitud de 115 mm, el cual es el mismo del módulo 2.

Una vez obtenido el dimensionamiento de la resistencia, el módulo 1 y 2, se procede a determinar la potencia requerida para obtener un diferencial de 60°C entre los sensores 1 y 9. Como se dijo anteriormente se asume un flujo de calor igual en cada zona por lo tanto para determinar el flujo de calor en una distancia de 80 mm en un cilindro de 25 mm, se puede utilizar la ecuación de Fourier y determinar el flujo de calor.

$$Q_{in} = \frac{kA}{L} \Delta T \quad (28)$$

Donde A es el área transversal, el análisis de comportamiento del equipo se hace para la demostración de conducción lineal por lo tanto se utiliza una probeta de 25,4 mm, por lo tanto el área transversal de la probeta es $5.067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Remplazando en la ecuación 18 se obtiene una potencia requerida de 42.94 W equivalente a un 28.6 % de la potencia máxima, este valor debe reflejarse en la estabilización de la señal PWM (en español modulación por ancho de pulsos) cuando se esté ejecutando el control, esta señal se utiliza para controlar el voltaje de la resistencia y su potencia.

Las tolerancias en el ajuste de la resistencia esta validada de acuerdo a las especificaciones del fabricante las perforaciones del latón no debe ser mayor a 0.002 mm de diámetro nominal, las resistencia no debe exceder 0.005 mm y siempre 0.001 bajo el diámetro nominal para obtener un ajuste deslizante (Ref.23)

8.3.6 Densidad de potencia mínima. Al dividir la potencia obtenida por el área de contacto de la resistencia se obtiene la densidad de potencia necesaria utilizada como entrada de calor en el diseño térmico, este valor es de 14238.87 (w/m²).

$$A_c = \pi D_R L_R = \pi * 12 \times 10^{-3} * 80 \times 10^{-3} = 3.0159 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (29)$$

$$Q_{Din} = \frac{Q_{in}}{A_{cr}} = \frac{42.943}{3.0159 \times 10^{-3}} = 14238.87 \quad (30)$$

8.3.7 Diferencial de temperatura del agua. Teniendo como medida flujo 3 l/min ($5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) con una densidad de 998.2 Kg/m^3 (ρ), viscosidad de $1 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-s}$ (μ), capacidad calorífica de $4186 \text{ J/Kg-}^\circ\text{C}$ (C_p) y conductividad térmica de $\text{W/m-}^\circ\text{C}$ (K_a) a temperatura ambiente de 17°C , teniendo como entrada de calor 42.943 W se puede obtener la temperatura máxima que puede alcanzar el agua a la salida del equipo despejando el diferencial de temperatura de la ecuación de conservación de energía para flujo estacionario.

$$\Delta T = \frac{Q_{out}}{C_e \rho C_p} = \frac{42.943 \text{ W}}{5 \times 10^{-3} * 998.2 * 4186} = 0.2055^\circ\text{C} \quad (31)$$

Se debe dimensionar el área de contacto del agua, conociendo en el diseño que la longitud del módulo 1 es igual a la del módulo 2 y sabiendo que se usa un ducto en "L", se puede obtener la longitud máxima del ducto, teniendo en cuenta que la distancia que existe entre los sensores y dejando una distancia de 20 mm desde el sensor 9 hasta la línea eje del ducto se obtiene una longitud de $79.77 \times 10^{-3} \text{ m}$.

Por otra de acuerdo al flujo y el diámetro de 25.4 mm del cilindro se puede deducir que no se puede obtener un régimen laminar del flujo, además se conoce que los valores típicos de coeficientes de convección forzada para fluidos es mayor a 1000 W/m²-°C como se desea que la transferencia de calor por convección sea forzada, se obtiene el diámetro mínimo para que con las condiciones de flujo se tenga 1000 W/m²-°C (h_{min}).

Se utiliza la ecuación aproximada del número de Nusselt para régimen turbulento dejando todo en términos del diámetro, sabiendo que para una temperatura de 17°C el número de Prandtl es de 8.09 (Anexo 8)

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} = \frac{hD}{k} = 0.023 \left(\frac{4C_{in}\rho}{\pi D\mu} \right)^{0.8} Pr^{0.4} \quad (32)$$

Despejando el diámetro y remplazando los valores de la ecuación 32 se obtiene

$$D = \left(0.023 \frac{k}{h_{min}} \left(\frac{4C_{in}\rho}{\pi\mu} \right)^{0.8} Pr^{0.4} \right)^{0.555} = 18.9 \text{ e } - 3 \text{ m} \quad (33)$$

Teniendo en cuenta que este valor el máxima para tener una transferencia de calor libre con un valor de 1000 W/m²-°C, se utiliza el diámetro estándar menor siguiente equivalente a 12,7 mm (1/2 pulg) para obtener un coeficiente convección superior y así obtener una transferencia de calor forzada.

Caracterizando el flujo con este diámetro utilizando las ecuaciones 13 a 16 y remplazando se obtiene

$$V_{prom} = \frac{C_e}{A_T} = 0.394 \frac{m}{s} \quad (34)$$

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = 4550 \quad (35)$$

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} = 44.8 \quad (37)$$

$$h = \frac{NuD}{k} = 2050 \frac{W}{m^2\text{°C}} \quad (38)$$

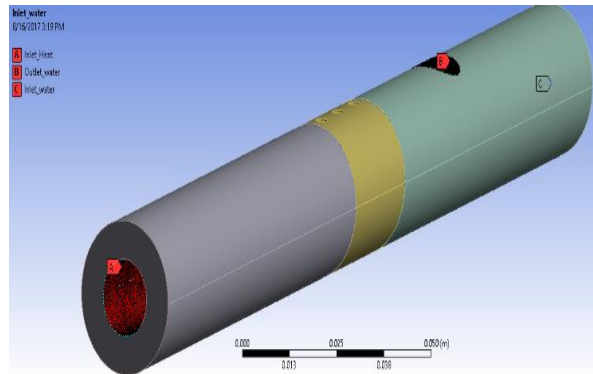
Se puede observar que con el diámetro seleccionado se obtiene el doble del valor del coeficiente de convección.

8.3.8 Simulación de equipo. Como primera medida se genera una simulación del equipo en estado estacionario, de tal manera que se conozca las temperaturas de trabajo y se pueda visualizar la linealidad del cambio de temperaturas con respecto a la distancia. El volumen de control del sistema está basado en dos sólidos, el latón que está aislado y otro sólido como volumen de control del agua, generando un contacto entre el agua y el latón. Estos materiales tienen las mismas características utilizadas anteriormente.

Teniendo en cuenta la figura 5 y los cálculo obtenidos en la tabla 4, el diagrama de cargas muestra una entrada de densidad de calor (Q_{Din}) por la resistencia de

14238.87 W/m², este valor en colocado en carga “a” se ve en la figura 11, de igual forma en la figura 5 se observa en el módulo de enfriamiento que las cargas térmicas dependen del caudal y la temperatura de entrada y salida del ducto de enfriamiento, en la figura 6 se observa la entrada y salida del ducto como “c” y “b” respectivamente con una entrada de caudal de 0.395 m/s de velocidad obtenida en la tabla 4 y una temperatura inicial igual a la ambiente de 17 °C para todas las partes del cuerpo.

Figura 6. Cargas Térmicas.



Descripción	Carga	
A. Entrada de calor. Resistencia térmica	Densidad de potencia (W/m ²)	14238.87
B. Salida de agua	Temperatura inicial (°C)	17
C. Entrada de agua	Velocidad de entrada (m/s)	0.395
	Temperatura inicial (°C)	17

Fuente: Autor del proyecto

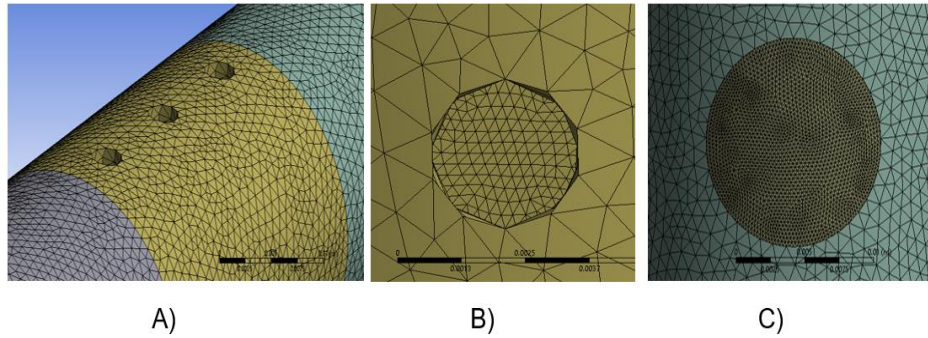
Utilizando las herramientas de ANSYS se crea una malla dejando como tamaño máximo del elemento de 1 mm mostradas en la tabla 5, obteniendo una malla como se ve en la figura 7, generando un refinamiento en la cara interna de cada sensor y en la superficie de salida del agua.

Tabla 6. Valores de la Malla.

PARAMETROS DE MALLA	Relevancia	100
	Función de tamaño	Sobre curvatura
	Centro de Relevancia	FINO
	Suavizado	MEDIO
	Transición	LENTA
	Centro de Ángulo	FINO
	Ángulo normal de curvatura	12
	Tamaño mínimo	0.001
	Máximo tamaño de cara	0.001
	Máximo tamaño	0.001
	Tasa de crecimiento	1.1
	Número de Nodos	249910
	Número de Elementos	1362270

Fuente: Autor del proyecto

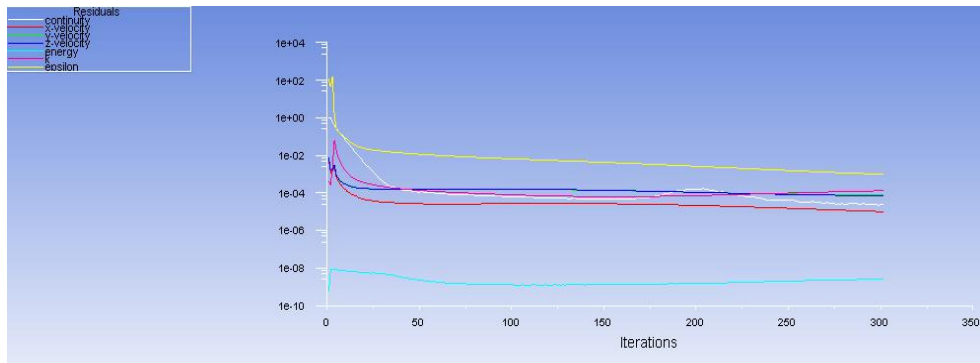
Figura 7. Creación de Malla. A) Malla parámetros iniciales B) Refinación de sensor C) Refinación de salida de agua.



Fuente: Autor del proyecto

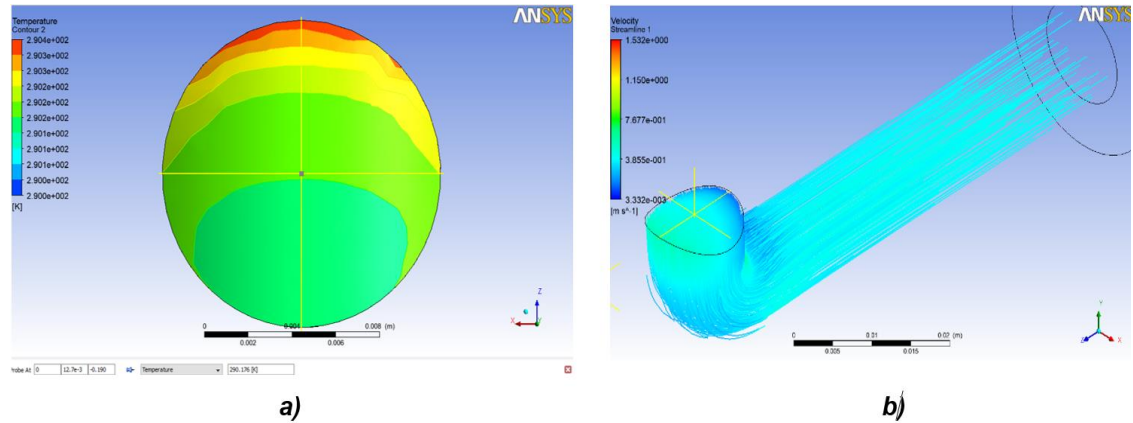
Una vez colocadas las variables y seleccionados los modelos que va a utilizar ANSYS para resolver el sistema se procede a resolver el sistema, se genera la simulación en estado estacionario, obtenido con 301 iteraciones (figura 8), este valor residual mide el desequilibrio local de una variable dentro del volumen de control, en las simulaciones CFD se considera que los niveles de $1e-4$ están ligeramente convergidos y con un valor de $1e-6$ están estrechamente convergidos (Ref.25), en la figura 10 se muestran las temperaturas en los puntos de interés, TS_n : Sensor de temperatura puntos de evaluación, TS : Temperatura de salida del agua, TR : Temperatura de resistencia).

Figura 8. Valor Residual de iteración.



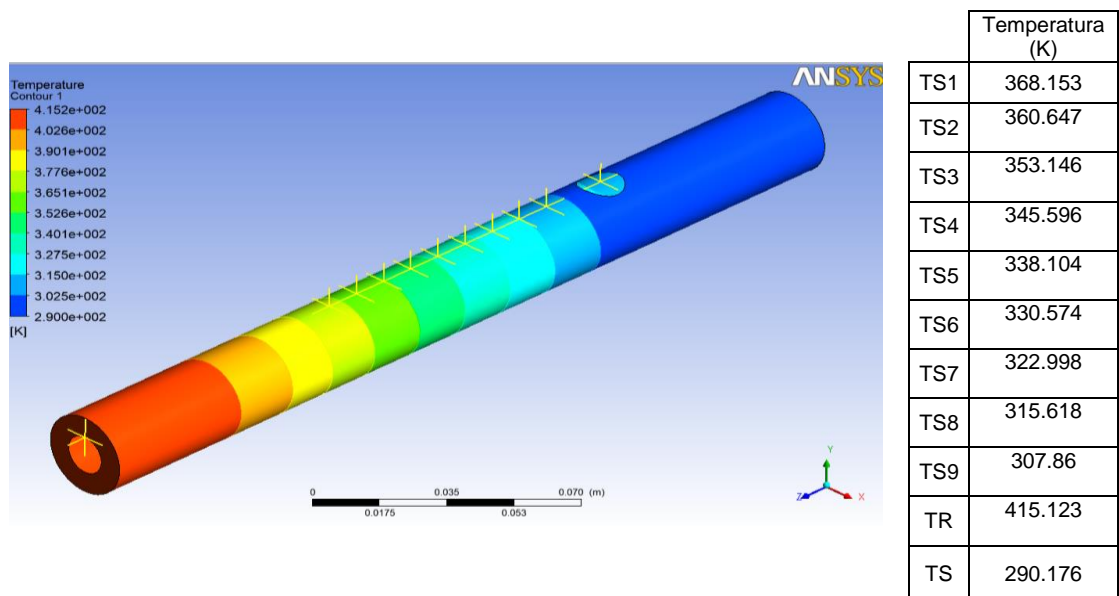
Fuente: Simulación ANSYS. Autor del proyecto

Figura 9. Simulación del equipo en estado estacionario, a) temperatura de salida y b) Velocidad del fluido.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 10. Simulación del sistema en estado estacionario.



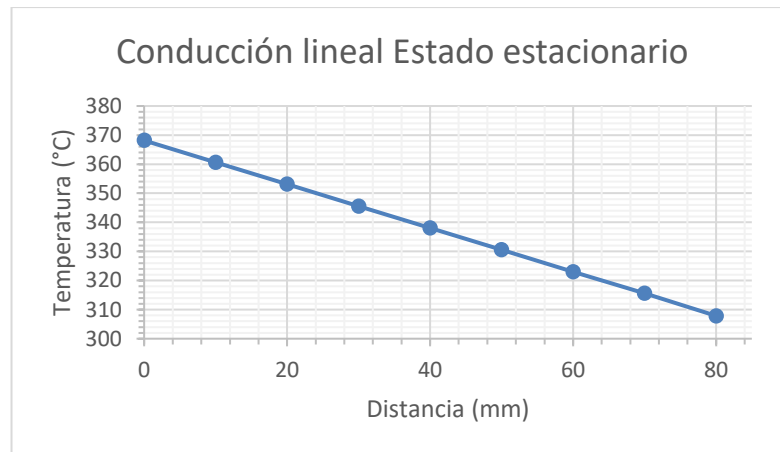
Fuente: Autor del proyecto

El diferencial de temperatura obtenido en la simulación entre el S1 y S2 es de 60,293 °C equivalente a un error de 0,486% de error relativo con respecto a los 60°C de condición calculado en la tabla 4, demostrando que efectivamente se entrega 42,9 W a cada elemento dentro del volumen de control. Por otra parte se puede observar que la temperatura alcanzada por el agua es de 17.176°C teniendo un error del 16.78% de error relativo (Figura 9 y 10), se estima que la causa es el área de contacto y el coeficiente de convección, que no es suficiente para absorber toda la potencia, al tener 36.8W hay mayor cantidad de calor almacenado en el metal lo que significa que la unidad de enfriamiento tiene una eficiencia de 83.22%, reflejado en un aumento en las temperaturas finales.

Por otra parte se puede observar en la figura 10, que la temperatura de la resistencia es de 415.123 K (142 °C), este valor puede ser más bajo si se hubiera tenido en cuenta la perdida por el aislamiento pero de igual forma está cercano al valor objetivo, esta temperatura se utiliza para el diseño del aislamiento térmico.

Las temperaturas registradas por los sensores demuestran el comportamiento lineal en estado estacionario, cumpliendo con el objetivo primordial del equipo.

Figura 11. Demostración de comportamiento lineal de equipo de conducción lineal



Fuente: Autor del proyecto

8.3.8 Simulación en régimen transitorio. Las condiciones finales de la simulación transitoria son las obtenidas en el sistema estacionario, esta simulación se utiliza ver el comportamiento del equipo con respecto al tiempo y obtener su tiempo de estabilización. Para está simulación se utiliza el mismo diagrama térmico de la figura 5, pero se utiliza la potencia máxima del equipo 160W, el diferencial de temperatura del equipo para este tipo de flujo de potencia es obtenido utilizando la misma ecuación de potencia de resistencia en la tabla 4 ecuación 22, pero despejando el diferencial de temperaturas, se debe tener en cuenta que este flujo es con el área del latón debido a que el diferencial de temperaturas es en esta zona.

$$\Delta T = \frac{Q_{in}L}{KA} = \frac{160 * 80e - 3}{113 * 5.067e - 4} = 223.55 \text{ W (38)}$$

El tiempo de estabilización del equipo varía según la energía almacenada en el equipo, se supone que el equipo es un sólido semiinfinito que es un cuerpo idealizado que tiene una sola superficie plana y se extiende hacia el infinito en todas direcciones, de modo que la temperatura del cuerpo de interés se debe a las condiciones térmicas de la región cercana a la superficie, en la mayor parte de los cuerpos pueden modelarse como cuerpos semiinfinitos, debido que el calor no tiene el suficiente tiempo para penetrar a la profundidad del cuerpo y por esta razón el espesor del cuerpo no entra en el análisis (Ref. 17 y 26). Tomando

como primera medida la ecuación general de estado para superficie plana en estado estacionario y generación de calor la ecuación 30

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt} \quad (39)$$

Donde:

Q: Calor de entrada

α : Difusividad térmica

k : Conductividad térmica

Utilizando variables de semejanza y obteniendo las funciones de error y error complementaria y simplificando se obtiene la ecuación para temperatura de un cuerpo semiinfinito con flujo de calor constante especificado en la superficie (Ref. 17)

$$T(x, t) - T_i = \frac{\dot{q}_s}{k} \left[\sqrt{\frac{4\alpha t}{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4\alpha t}\right) - \text{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \right] \quad (40)$$

Simplificando debido a $x=0$, condición inicial $T_i= 290\text{K}$. Teniendo valor de α

$$\alpha = \frac{\rho C_p}{k} = 3.48 e - 5 \quad (41)$$

Obteniendo,

$$T(x, t) - 290 = \frac{\dot{q}_s}{k} \sqrt{\frac{4\alpha t}{\pi}} \quad (42)$$

Se despeja el tiempo de la ecuación y se remplaza por el valor obtenido en la superficie de contacto de la resistencia y el latón que es 414.555K y el calor de entrada para una diferencia de temperaturas de 60°C de 14238.731 W/m^2 , se obtiene.

$$t = \left(\frac{113 * (414.555 - 290)}{14238.731} \right)^2 * \frac{1}{4.428e - 5} = 22075.6 \text{ s} \quad (43)$$

El tiempo necesario para que el sistema con 14238.731 necesita para llegar a la temperatura de trabajo es de 22075.6 segundos.

Se procede hacer la simulación en ANSYS, teniendo como criterio de estabilidad las iteraciones obtenidas por la simulación estacionaria, lo que conlleva a simular se un tiempo específico con 263 iteraciones, obteniendo así un margen residual igual al estacionario. Se simula cada 10 segundos y progresivamente se va aumentando el tiempo, el objetivo del comportamiento estacionario es generar ecuaciones de transferencia modelando el comportamiento del equipo en

MATLAB y colocándole un controlador PID, que simule el comportamiento real del equipo con la resistencia de 150 W, y compararla con los valores estacionarios obtenidos. La ecuación 35 muestra el modelo de función de transferencia para un comportamiento de segundo orden.

$$G(s) = \frac{K}{(tws)^2 + 2\zeta t_w + 1} \quad (44)$$

El comportamiento del equipo se puede observar en el anexo 7, con el tiempo de 15000 s tiene una temperatura de 607.986 K y en 19000 s una temperatura de 608.108 K, estabilizándose en los 22000 segundos, el cual tiene un error muy bajo con respecto al modelo de sólido semiinfinito y teniendo un error relativo de diferencial de temperatura de 8.16%, el cual es aceptable.

8.3.9 Validación de parámetros. Una vez demostrado que la simulación en transitorio rige con respecto a lo esperado, se determina las funciones de transferencia utilizando IDENT de MATLAB para el modelo de la ecuación 24.

Tabla 7. Valores de la ecuación de función de transferencia para cada uno de los sensores del equipo. (S: Sensor de temperatura puntos de evaluación, TS: Temperatura de salida del agua, TR: Temperatura de resistencia).

	K	TW	Z
S1	318.125	761.9909	1.4448
S2	288.207	776.290857	1.4318388
S3	257.827	790.590814	1.42216626
S4	227.746	804.890771	1.41494795
S5	197.339	819.190729	1.40956115
S6	166.933	833.490686	1.40554115
S7	136.885	847.790643	1.40152115
S8	106.521	862.0906	1.3989
S9	76.314	871.3028	1.3965
TS	0.761	107.6876	4.3925
TR	506.992	668.9347	1.503

Fuente: Autor del proyecto

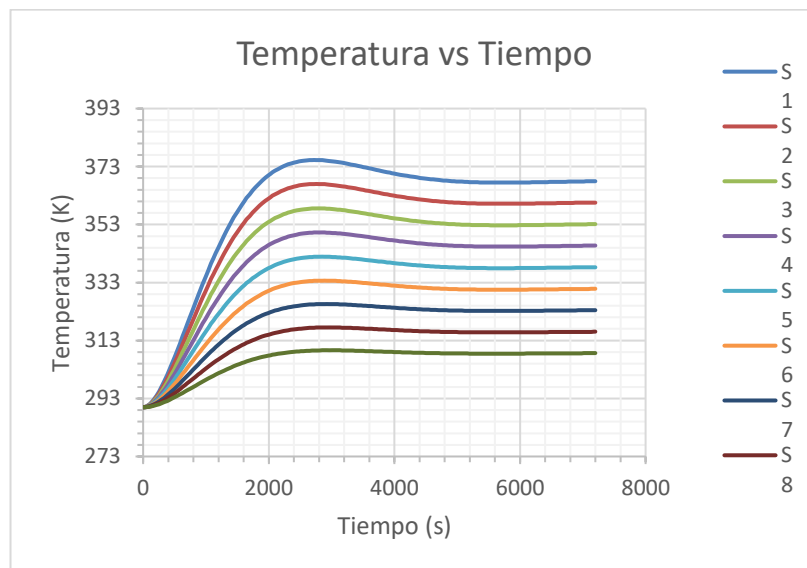
Por otra parte con SIMULINK de MATLAB, se coloca la secuencia de funcionamiento del sistema por medio de un diagrama de bloques (Ver anexo 7, Figura 57), utilizando la herramienta PID Tuner de MATLAB, se determina los valores del controlador con respecto al tiempo deseado de estabilización y “overshot” del controlador con un valor menor a 2 horas y 10% respectivamente, este valor lo entrega la herramienta teniendo en cuenta el valor de Tw.

El controlador de temperatura PID envía la señal teniendo como referencia una temperatura final deseada y la temperatura del primer sensor. Los valores obtenidos para este controlador son ganancia: K=0.019, Integrador I=8.65 y

derivador $D=0.84$, con estos valores se produce la simulación para un tiempo de respuesta de 2080 s y tiempo de estabilización de 4470 s, un valor coherente debido a que si se utiliza 160W (100%) en la ecuación 34 se obtiene el tiempo para llegar a los 368.151K, se necesita un tiempo mínimo de 1590.6s mucho más bajo que el tiempo de estabilización, en la figura 13 se observa la señal PWM que se utiliza para controlar el equipo y llegar a la temperatura deseada como se dijo anteriormente el equipo muestra una señal de estabilización del 25% equivalente a 13263 W/m^2 que varía un 12.6% con respecto al 28,6 estimado de 14238.87 W/m^2 , sin embargo este no es un porcentaje alto y las temperaturas no se afectan de una forma notoria. En este diagrama se observa que no se llega a 100%, esto debido al límite “overshot” (Sobrepaso de temperatura de referencia) de 8.69% que lo limita.

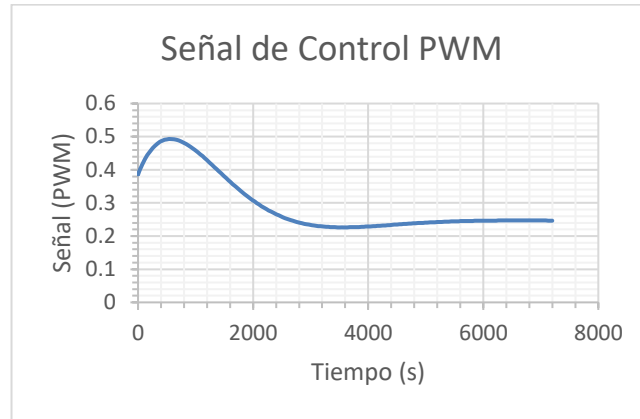
Los valores del controlador podrían cambiar de acuerdo al comportamiento del equipo ya construido con sus actuadores y sensores, programación del controlador y visualización de resultados utilizando software Labview, y generar un control más elaborado, que se sale del alcance de este proyecto. Se plantea con una simulación el comportamiento real del equipo con una temperatura de referencia de 368.153 K utilizando un controlador en sistema cerrado realimentado (tabla XC)

Figura 12. Diagrama de temperaturas de trabajo con controlador PID a 368.153 K (95.153 °C)



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 13. Señal modulada de control del equipo.



Fuente: Autor del Proyecto

En la tabla 7 se muestra una comparación de la simulación en ANSYS y la simulación con diagrama de bloques con el control, demostrando que el equipo se comporta como se desea.

Tabla 8. Resultados obtenidos en simulación FEM y equipo con control PID.

	Simulación FEM	Temperaturas Diagrama de Bloques	
	Temperatura (K)	Temperaturas (K)	Error (%)
S1	368.153	367.9405	0.05771562
S2	360.647	360.5944	0.01458105
S3	353.146	353.1326	0.00378765
S4	345.596	345.7441	0.04285139
S5	338.104	338.2780	0.05145525
S6	330.574	330.8163	0.07328644
S7	322.998	323.4495	0.13977645
S8	315.618	316.0118	0.12477206
S9	307.86	308.6275	0.24929307
TR	290.176	290.1871	0.00382396
TS	415.123	414.4579	0.1602255

	Valores Teóricos	SIMULACIÓN			
		FEM		D. de bloques PID	
		Valor	Error Relativo	Valor	Error Relativo
ΔT	60	60.2930	0.4883	59.3130	1.1449
ΔTs	0.2055	0.1760	14.3747	0.1871	8.9763
P (W)	42.94	36.77	14.3747	39.0887	8.9763

Fuente: Autor del Proyecto

8.3.10 Espesor de Aislamiento. Para poder obtener el dimensionamiento del aislamiento térmico se debe tener en cuenta que tipo de material se utilizará, de este modo se recoge información de diferentes materiales que se pueden encontrar fácilmente en el mercado y se presentan en la tabla 8, esta tabla muestra las ventajas y desventajas de materiales para este equipo.

Tabla 9. Ventajas y Desventajas de Alternativas Para Aislamiento Térmico.

Concepto	Aislamiento térmico		
Alternativa	Espuma de poliuretano	Fibra de vidrio inorgánica	Poliestireno Extruido
Ventaja	Conductividad térmica de 0.026 W/m°C, se puede utilizar a temperaturas hasta 220°C, Conserva el calor, Vida útil 50 años NO hay pérdida de calor por convección, incombustible,	Buena eficiencia térmica, resistente a vibración, resistencia a temperatura de 454°C, bajo costo, no genera corrosión resistencia térmica de 0.032 a 0.043 W/m°C de 10 a 100 °C	NO hay pérdida de calor por convección, incombustible, no pierde propiedades con el tiempo
Desventaja	Vulnerable a rayos ultravioleta, Penetración de agua	Viene en tamaños estándar 25.4 mm de diámetro, temperatura aproximada de salida 40 °C, pérdida de calor por convección, pérdida de calor por infiltración de aire	Pérdida de calor por juntas y filtración de aire, hay que intervenir uniones

Fuente: Autor del proyecto.

El material utilizado para el aislamiento es la fibra de vidrio de acuerdo a sus ventajas en este diseño en específico, de acuerdo a la simulación se obtiene que la temperatura máxima del equipo es de 415.123 K (142.123), teniendo la conductividad térmica de 0.04 W/m-°C, se utiliza la teniendo como parámetro 40°C (T_{ext}) en la superficie exterior del aislante se obtiene un diferencial de temperaturas en los dos radios de 375.123 K (ΔT) y con una pérdida máxima de 2W en total (Q_p) y una longitud de igual a la longitud de 0.115 m que tiene la superficie del el módulo de calor, se utiliza la ecuación de conservación de energía para un sistema radial y se despeja el radio exterior (r_2) y el r_1 es de 12,7 mm

$$r_2 = r_1 e^{\frac{2\pi L K}{Q_p} \Delta T} = r_2 = r_1 e^{\frac{2 * \pi * (0.115) * 0.04}{2} (142.123 - 40)} = 55.56 e - 3 \text{ m} \quad (44)$$

8.3.11 Elementos de sujeción y otros componentes. En el anexo 6 se muestra el diseño de los otros elementos o componentes del equipo.

8.4 DISEÑO DE EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL.

8.4.1 Requisitos de equipo de conducción lineal De acuerdo los temas abordados en cada universidad, la indagación de profesionales con experiencia en el campo y antecedentes de equipos fabricados, se puede establecer requisitos académicos y de funcionamiento.

Equipo de Transferencia de calor por Conducción Radial:

- Debe mostrar el comportamiento de conducción Radial del sistema en un diferencial de temperatura.
- Obtención de Conductividad térmica.
- Caracterización del cambio de conductividad con diferentes temperaturas del equipo.
- Fácil interpretación de datos del equipo.
- Práctica y de fácil utilización.

8.4.2 Condiciones de operación. El equipo debe cumplir algunas condiciones de operación.

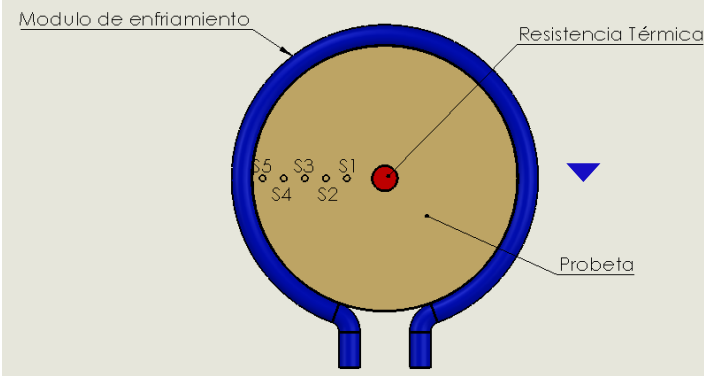
Tabla 10. Condiciones de operación del equipo de conducción Radial.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Voltaje de trabajo (V)	220	Los laboratorios de la universidad pueden entregar 220 V
Diferencial de temperatura Máximo (°C)	40	Se establece como parámetro de funcionamiento del equipo, de modo que no se requiera un valor tan alto de potencia y diámetros.
Caudal de enfriamiento (l/min)	3	Esté valor es entregado por el laboratorio de la universidad libre

Fuente: Autor del proyecto

8.4.3 Diseño básico del equipo de conducción Radial.

Tabla 11. Diseño básico de equipo de conducción lineal

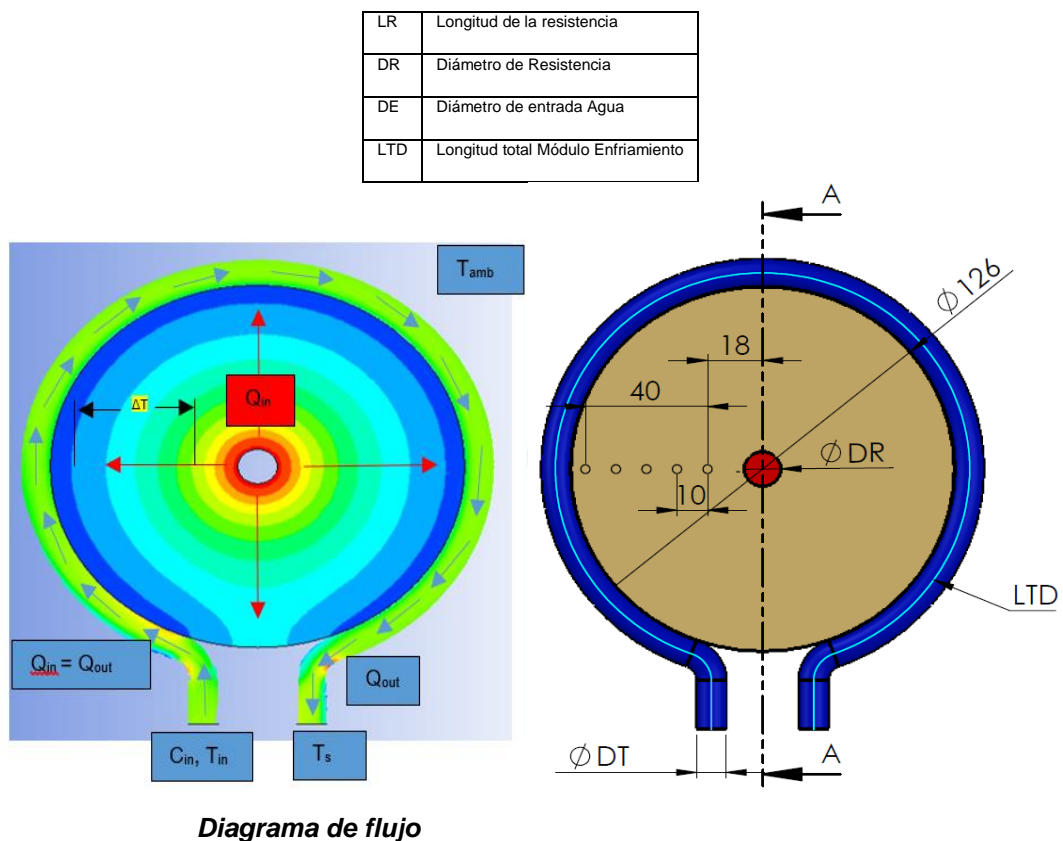
	
Componente	Descripción
Resistencia Cartucho	<p>La resistencia Cartucho calienta la probeta desde su diámetro interno hacia su radio exterior</p> <p>Se selecciona este tipo de resistencia por su facilidad de colocación, amplio rango de densidad de potencia, fácil fabricación</p>

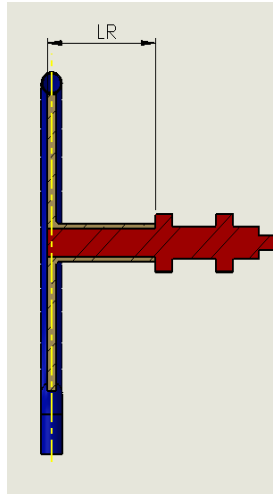
Probeta	Disco con diámetro exterior de 126 mm y un espesor de 4 mm de latón C22000 como material conductor. Debido a que su conductividad térmica es media con respecto a otros materiales con conductividad térmica alta y baja, por otro lado se adquiere fácil en el mercado y presenta un fácil mecanizado. Esta probeta se utiliza para demostrar la conducción radial
Módulo de enfriamiento	El módulo de enfriamiento es un tubo que rodea la probeta por su diámetro exterior, se selecciona un tubo de cobre tipo k, debido a que es un material no corrosivo y su facilidad de moldear en el exterior del equipo, por otro lado tiene una conductividad térmica buena entregando de una forma más rápida el calor al agua.
Sensores (S1 a S9)	Los sensores tienen una separación de 10 mm donde se evidencia el cambio de temperatura con respecto a la distancia y que no afecte la medición de cada uno de los sensores.

Fuente: Autor del proyecto

8.4.4 Diseño en detalle de equipo de conducción Radial. Se debe generar un diagrama térmico, donde se identifiquen cada una de las variables de importancia, el flujo del calor y las suposiciones para poder resolver el sistema.

Figura 14. Diseño en Detalle del equipo de conducción Radial.





Fuente: Autor del Proyecto

La resistencia transmite energía en forma de calor (Q_{in}) a una probeta la cual es un disco de Latón (diámetro exterior de 126 mm y 4 mm) desde el radio interno (DR) hacia el radio exterior (126mm), este calor se transmite por todo el equipo hasta llegar a el módulo de calor compuesto por una tubería donde fluye agua a 3 l/m (C_{in}) con una temperatura promedio de 17°C (T_{amb}) y absorbe todo el calor de la resistencia (Q_{out}), a medida que el agua fluye por el ducto su temperatura va aumentando (T_{sal}). Los sensores (S1 a S9) registran y envían la información de la temperatura en cada instante, esta temperatura va en aumento hasta llegar a su máximo, generando un diferencial entre el sensor 1 y el sensor 9 (ΔT). Se asume que el restante de caras está en adiabático con respecto al ambiente.

8.4.5 Resistencia eléctrica tubular. La potencia requerida para obtener el diferencial de temperatura está dada por la ecuación de conservación de la energía para un sistema radial

$$Q = \frac{2\pi LK}{\ln \left| \frac{S5}{S1} \right|} \Delta T \quad (45)$$

Donde S1 es el radio del sensor 1 de 18 mm, esta distancia se seleccionó para evitar el contacto directo de la resistencia y el sensor, así evitando un error por radiación o por la temperatura que se tiene por la camisa que rodea la resistencia en el sector inferior del disco, el S5 es el radio del sensor 5 de 58 mm, obtenido con la suma de las distancias entre cada sensor al remplazar los valores teniendo en cuenta que se requiere un diferencial de 40°C se obtiene

$$Q = \frac{2\pi * 4e - 3 * 113}{\ln \left| \frac{58}{18} \right|} 40 = 97.1 \text{ W} \quad (45)$$

Teniendo en cuenta la potencia requerida del equipo se puede seleccionar una resistencia de 100W con diámetro de 12 mm y 50 mm de longitud, obteniendo

una densidad de potencia de 53052 W/m² teniendo en cuenta el área de contacto de la resistencia ($\pi \cdot DR \cdot LR$).

8.4.6 Diferencial de temperatura del agua. Teniendo como medida flujo 3 l/min (5e-3 m³/s) con una densidad de 998.2 Kg/m³ (ρ), viscosidad de 1e-3 Kg/m-s (μ), capacidad calorífica de 4186 J/Kg-°C (C_p) y conductividad térmica de W/m-°C (K_a) a temperatura ambiente de 17°C, para una entrada de potencia de 100 W se puede obtener la temperatura máxima que puede alcanzar el agua a la salida del equipo despejando el diferencial de temperatura de la ecuación de conservación de energía para flujo estacionario.

$$\Delta T = \frac{Q_{out}}{C_e \rho C_p} = \frac{100 \text{ W}}{5e-5 * 998.2 * 4186} = 0.4786 \text{ °C} (31)$$

El diámetro del ducto no tiene un limitante de dimensión en comparación con el equipo de conducción lineal, donde el ducto estaba dentro del cilindro del módulo de enfriamiento, el diámetro de mínimo de 19 mm para obtener transferencia de calor por convección forzada interna es igual para este caso, debido a que presenta las mismas condiciones de la ecuación 33, Se selecciona un tubo de cobre tipo M, con ¼ de diámetro nominal, diámetro exterior de 9.53 mm y diámetro interno de 8.26 mm con el fin de observar el comportamiento y si es necesario aumentar o disminuirlo de forma iterativa.

Se caracteriza el flujo con este diámetro utilizando las ecuaciones 13 a 16 y remplazando se obtiene.

$$V_{prom} = \frac{C_e}{A_T} = 0.933 \frac{m}{s} (34)$$

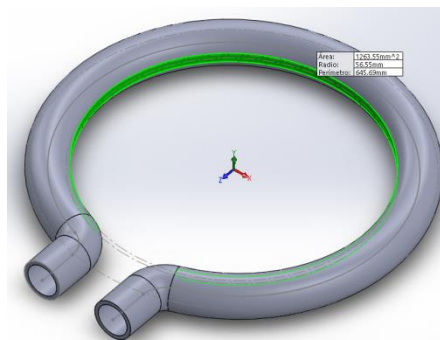
$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 44.8 (37)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 63.2 (35)$$

$$h = \frac{Nu D}{k} = 2050 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} (36)$$

Por facilidad de simulación y aumento del área de contacto de la transferencia de calor se hace un corte en la tubería de 0.5 mm como se observa en la figura 15.

Figura 15. Corte de la sección del tubo.



Fuente: Autor del Proyecto

8.4.7 Simulación de comportamiento del equipo. Como primera medida se genera una simulación del equipo en estado estacionario, de tal manera que se conozca las temperaturas de trabajo y se pueda visualizar el cambio de la temperatura de forma radial. El volumen de control del sistema está basado en tres sólidos, el latón de la probeta, la tubería de cobre y un cilindro interno en la tubería como volumen de control del flujo de agua, generando un contacto entre el agua y el cobre. Las características del agua tiene las mismas condiciones de trabajo mencionadas anteriormente, el cobre presenta una conductividad térmica

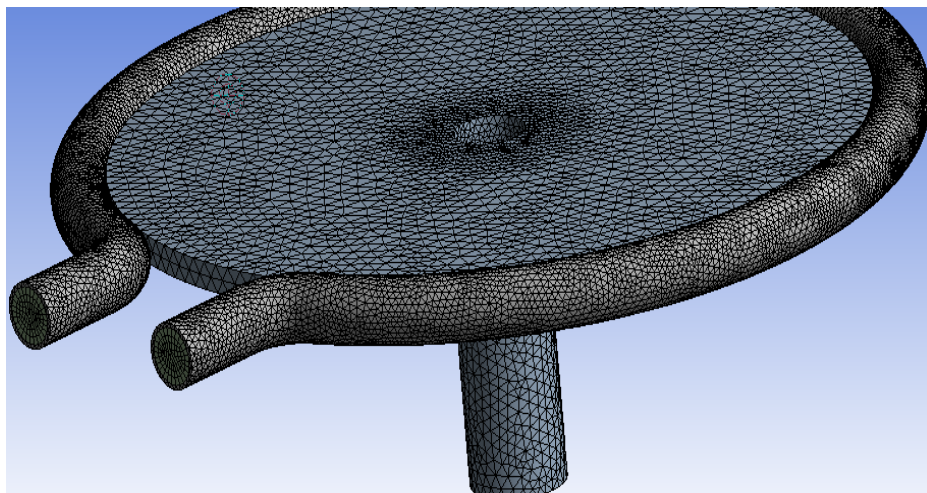
8.4.7.1 Creación de Malla de los elementos. Se crea una malla con los parámetros mostrados en la tabla 10

Tabla 12. Valores de la Malla.

PARAMETROS DE MALLADO	Relevancia	40
	Función de tamaño	Sobre curvatura
	Centro de Relevancia	FINO
	Suavizado	MEDIO
	Transición	LENTA
	Centro de Ángulo	MEDIO
	Ángulo normal de curvatura	37.755
	Tamaño mínimo	2.7545E-5
	Máximo tamaño de cara	2.7545E-3
	Máximo tamaño	5.50896E-3
	Tasa de crecimiento	1.1720
	Número de Nodos	87268
	Número de Elementos	194621

Fuente: Autor del proyecto

Figura 16. Creación y refinamiento de la Malla.

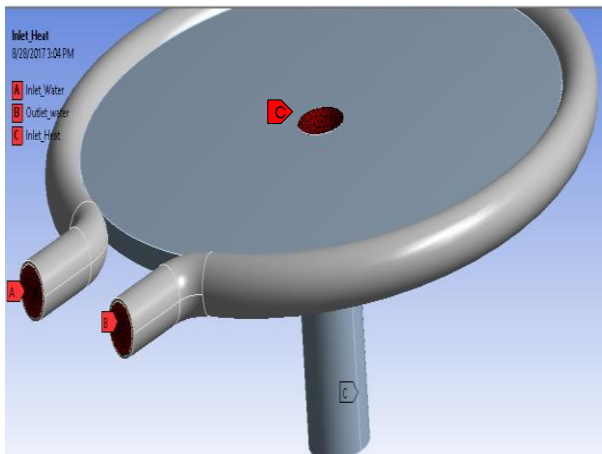


Fuente: Autor del Proyecto.

8.4.7.2 Cargas Térmicas. La carga de densidad de potencia es de 53052 W/m^2 , como se había dicho anteriormente, y el flujo de agua por el ducto con un caudal de 3 l/min , a una velocidad de $8.95 \times 10^{-2} \text{ m/s}$, con una temperatura de entrada de 17°C , este valor es ingresado como entrada en el ducto de cobre y en la salida.

Para está simulación no se tiene en cuenta las cargas o perdidas por convección. En la figura 17 se muestra la entrada de cargas térmicas.

Figura 17. Cargas Térmicas.

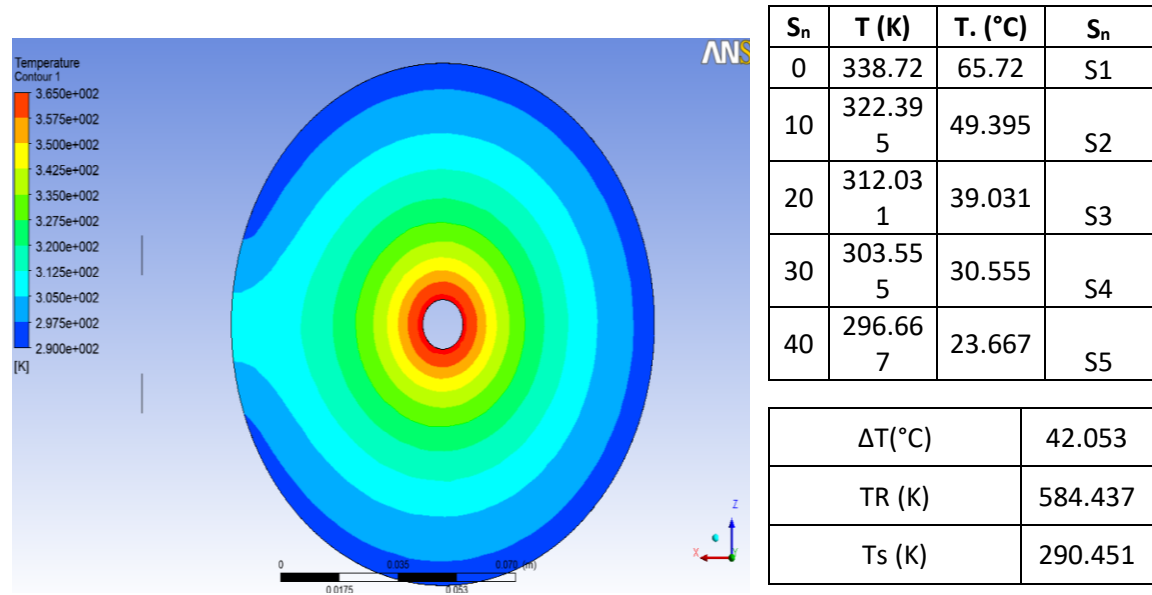


Descripción	Carga	
A. Entrada de agua	Velocidad de entrada (m/s)	9.33E-01
	Temperatura inicial (°C)	17
B. Salida de agua	Temperatura inicial (°C)	17
C. Entrada de calor. Resistencia térmica	Densidad de potencia (W/m2)	53052

Fuente: Autor del proyecto

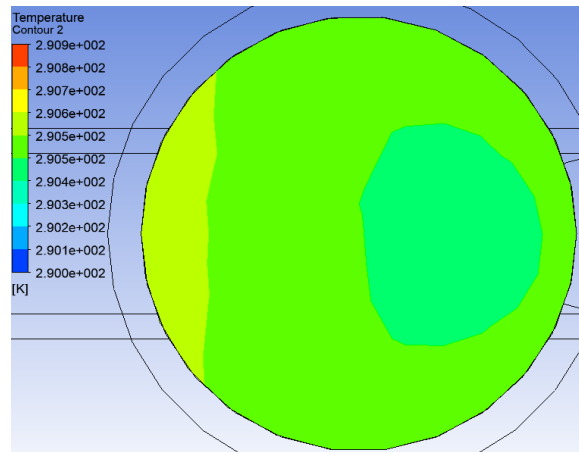
8.4.7.3 Simulación en estado estacionario. Se obtiene los parámetros del equipo en estado estacionario gracias a la herramienta en FLUENT, la simulación necesita 107 iteraciones para llegar a convergencia, este valor residual mide el desequilibrio local de una variable dentro del volumen de control, en las simulaciones CFD se considera que los niveles de 1e-4 están ligeramente convergidos y con un valor de 1e-6 están estrechamente convergidos (Ref.25), en la figura 18 se muestran las temperaturas en los puntos de interés, S_n: Sensor de temperatura puntos de evaluación.

Figura 18. Comportamiento de la temperatura en el equipo radial en estado estacionario (S_n: Distancia (mm), T: temperatura, Sensor, Ts: Temperatura de salida del agua, TR: Temperatura máxima de la resistencia)



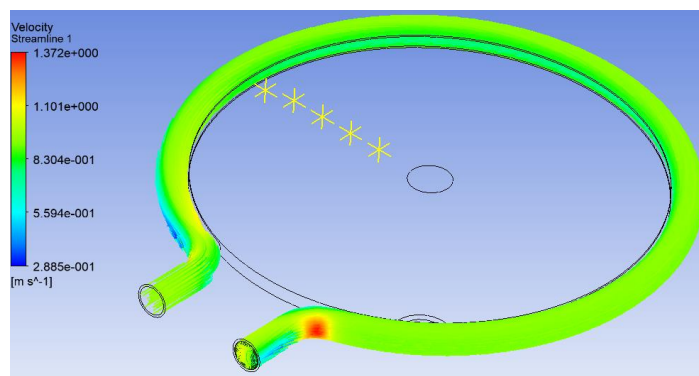
Fuente: Autor del proyecto

Figura 19. Temperatura de salida de agua refrigerante.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 20. Velocidad del fluido refrigerante.

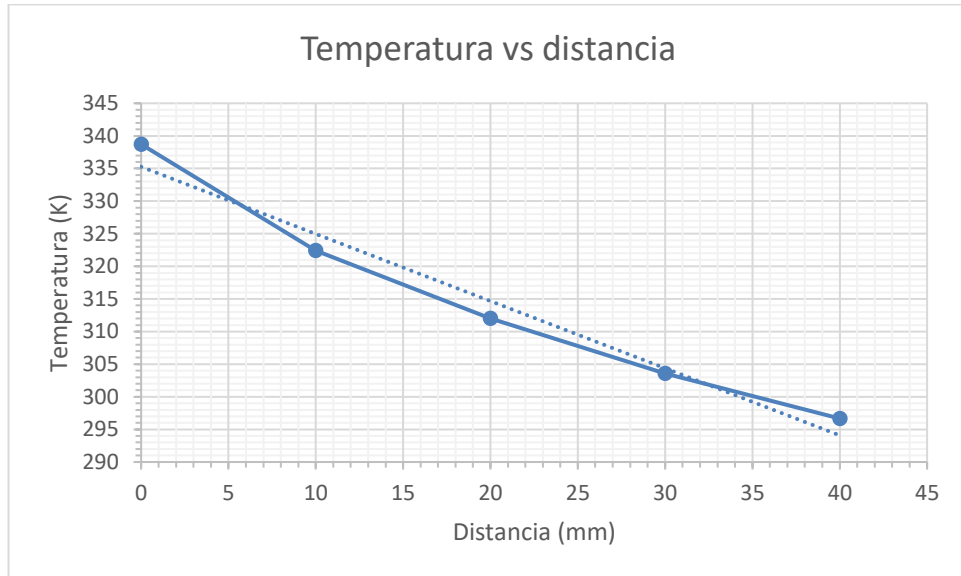


Fuente: Autor del proyecto

La simulación en estado estacionario varía un 5.13% de error relativo en el diferencial de temperaturas del sensor 1 y el sensor 2 obtenido en la tabla 9, se puede observar que la temperatura de salida del agua es de 290.451 K equivalente a un 9.51e-3% del valor obtenido de la tabla 9, esto se ve notorio si se obtiene la potencia de salida utilizando la ecuación de la tabla 9 descripción 7.6.4, remplazando el aumento de la temperatura del agua y despejando la potencia se obtiene 94.22 W, el cual equivale a un 5.77% de error relativo de los 100W que entran al equipo, el módulo de enfriamiento obtiene una eficiencia de 94.23% debido a no absorbe en totalmente el Q_{in} , está eficiencia es aceptable debido a que se cumple con el objetivo principal del equipo, demostrando una linealidad en las temperaturas obtenidas en los sensores como se ve en la figura 20 (Se puede mencionar que la potencia nominal de la resistencia es la mínima que debe tener para obtener este diferencial de temperatura, se podría aumentar

la densidad de potencia para disminuir el tiempo de estabilización o por causa de pérdidas de potencia por el aislamiento)

Figura 21. Comportamiento Lineal del equipo de conducción radial.



Fuente: Autor del proyecto

Por otra parte la temperatura de la resistencia tiene un valor de 584.437K (311.437°C), se esperaba esta temperatura debido a que la temperatura en la resistencia cerca al disco de 4 mm de la probeta tiene mayor masa y fluye mayor densidad de potencia que la zona de la resistencia más alejada.

8.4.7.4 Control de la Temperatura. Se realiza una simulación en estado transitorio para determinar el tiempo de estabilización del equipo, se toma la superficie del radio interno de la resistencia como un cuerpo semiinfinito de igual forma que se hizo con el equipo de conducción lineal, utilizando un flujo de calor de 53052 W/m^2 , conductividad térmica de $113 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$, se despeja el tiempo en la ecuación 34 que se requiere para llegar de 290K a 584.437 K, equivalente a 8882 s para llegar a la estabilización.

En el anexo 7 se observa el comportamiento con respecto al tiempo del equipo de conducción radial obteniendo una estabilización en cercanos a los 8000 segundos con una temperatura de 338.7199°C.

Como se hizo en el equipo de conducción lineal se utiliza la herramienta IDENT de MATLAB para obtener los valores de las constantes de las ecuaciones de transferencia para un sistema de segundo orden y se pueden ver en la tabla 11.

Tabla 12. Valores de las ecuaciones de transferencia. (S: sensor, TR: temperatura de resistencia, TS: temperatura salida)

	K	TW	Z
S1	48.72	194.4457	1.6544
S2	32.395	211.4239	1.6359

S3	22.031	222.6367	1.6214
S4	13.555	229.2015	1.6079
S5	6.667	188.2206	1.4279

Fuente: Autor del proyecto

Se crea un diagrama de bloques y utilizando la herramienta PID Tuner de Simulink (ver anexo 7), para obtener un controlador con valores de $K= 0.035$, $I=6.972e-5$, $D= -5.4194$, para este sistema con un tiempo de respuesta de 443 s y un tiempo de estabilización de 1400 s cuando la temperatura es inferior a 338.72 K, este control se genera para dar una opción al estudiante de experimentar con otras temperaturas y obtener un comportamiento radial, ya que las en la temperatura máxima el control es nulo debido que se debe utilizar el 100% de la potencia, como se dijo anteriormente se puede utilizar una resistencia con una densidad de potencia más alta pero de igual forma con esta potencia se cumple con el objetivo.

8.4.8 Aislamiento Térmico. El tubo soldado tiene unas dimensiones de 12 mm de diámetro interno y 16 de diámetro externo (r_1), se determina en puntos anteriores que la temperatura máxima es de 584.437 K (311.44°C) la cual sería igual a la temperatura interior del aislante, utilizando fibra de vidrio como aislante térmico con una conductividad de 0,04 W/m-°C, teniendo como parámetro 40°C (T_{ext}) en la superficie exterior del aislante se obtiene un diferencial de temperaturas en los dos radios de 294 K (ΔT) y con una pérdida máxima de 2W en total (Q_p) y una longitud de 46 mm que tiene la superficie del tubo soldado, se utiliza la ecuación de conservación de energía para un sistema radial y se despeja el radio exterior que debe tener y se reemplaza por los valores obteniendo un espesor de 38.41 mm (Ecu. 44) el cual en el mercado se puede conseguir como 1.5" de espesor.

$$r_2 = r_1 e^{\frac{2\pi L K}{Q_p} \Delta T} = 8e - 3e^{\frac{2\pi * 46e-3 * 0.04}{2} 294^\circ C} = 38.41 - 3 \text{ m (44)}$$

8.4.9. Elementos de sujeción y otros componentes. En el anexo 6 se muestran el diseño de los otros elementos o componentes del equipo

8.5 DISEÑO DE EQUIPO DE CONVECCIÓN.

8.5.1 Requisitos de equipo de convección. De acuerdo a los temas abordados en cada universidad, la indagación de profesionales con experiencia en el campo y antecedentes de equipos fabricados, se puede establecer requisitos académicos y de funcionamiento.

Equipo de Transferencia de calor por Convección:

- Caracterizar el Flujo
- Generar un sistema con transferencia de calor forzada (Externa o Interna)

- Obtener el cambio de temperatura del fluido y su ganancia de energía térmica
- Cambio de valores de entrada y ver como se afecta el coeficiente de convección.
- Determinar valor de coeficiente de convección.

Requisitos para todos los equipos:

- El equipo debe presentar confiabilidad en las mediciones experimentales
- El funcionamiento del equipo es acorde a las instalaciones eléctricas y de agua del Laboratorio de la Universidad Libre
- El equipo debe tener bajo costo.
- Debe presentar un pequeño tamaño para su fácil manipulación
- Debe garantizar la seguridad del estudiante
- No tener un alto peso

8.5.2 Condiciones de operación. El equipo debe cumplir algunas condiciones de operación de acuerdo a las instalaciones del laboratorio además de los requisitos obtenidos en 8.1.5.

Tabla 13. Condiciones de operación del equipo de convección

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Potencia	150 W	Se toma como potencia máxima, se va a diseñar el equipo de modo que la potencia requerida para obtener el diferencial de temperatura máximo sea menor a esta potencia. Sobredimensionando el equipo se puede garantizar que el tiempo de estabilización es menor.
Voltaje de trabajo (V)	220	Los laboratorios de la universidad pueden entregar 220 V
Temperatura Máxima (°C)	150	Esta es la temperatura máxima deseada en la fuente de calor, ya que la resistencia es la zona que se presume que va a tener una mayor temperatura, se utiliza este valor de tal manera que el equipo no requiera de un espesor muy grande de aislamiento para garantizar la seguridad del estudiante. Para el cumplimiento del equipo no es necesario tener temperaturas altas para demostrar el fenómeno.

Fuente: Autor del proyecto

8.5.3 Diseño de básico de Convección.

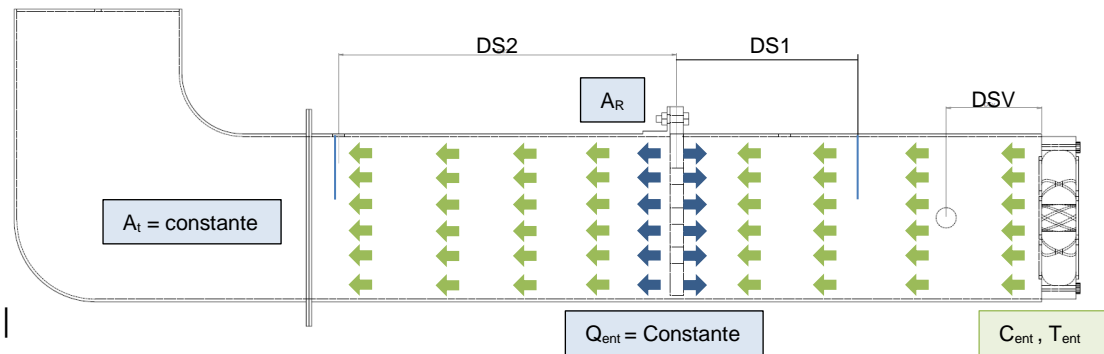
Tabla 14. Diseño básico de equipo de Convección.

Componente	Descripción
Resistencia Tirámica	Se selecciona una resistencia Plana que entrega un flujo de calor constante al fluido, para obtener un mayor coeficiente de convección el área de la resistencia es 5% menor al ducto y con orificios donde puede pasar el aire, de esta forma garantizar el aumento de la velocidad y el coeficiente de convección.
Ventilador Axial	Se selecciona un ventilador axial debido a que los flujos de caudal encontrados en el mercado son menores a los ventiladores centrífugos, además se pueden encontrar monofásicos y con potencias bajas de trabajo, son de más fácil instalación y control que un ventilador centrífugo
Módulo de enfriamiento	El módulo de enfriamiento es un tubo que rodea la probeta por su diámetro exterior, se selecciona un tubo de cobre tipo k, debido a que es un material no corrosivo y su facilidad de moldeado en el exterior del equipo, por otro lado tiene una conductividad térmica buena entregando de una forma más rápida el calor al agua.
Sensores (S1 a S2)	Se utilizan dos sensores antes de la resistencia y después de la resistencia, de este modo obtener el calor ganado por el aire
Sensor de velocidad	Se selecciona un sensor de velocidad de Sondas de rueda alada es el que presenta más ventajas por su fácil instalación, presenta mayor diversidad de diámetros de rueda frente a enómetro estándar.
Ducto Cuadrado	Se selecciona un ducto cuadrado de aluminio de lado de 120 mm, el perfil cuadrado muestra al estudiante el comportamiento del aire en una sección no circular, el cual es un criterio académico. Por otro lado el ducto es de aluminio debido a las características contra la corrosión de este material.

Fuente: Autor del proyecto

8.5.4 Diseño en detalle de equipo de convección. Se debe generar un diagrama térmico, donde se identifiquen cada una de las variables de importancia, el flujo del calor y las suposiciones para poder resolver el sistema.

Figura 22. Diseño básico y diagrama de cargas térmicas

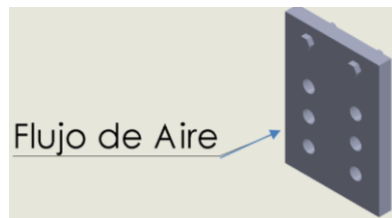


Fuente: Autor de proyecto

Se genera un flujo por medio de un ventilador axial, la velocidad de flujo es tomada por el sensor de velocidad S_v , el cual está a una distancia DSF del ventilador, la resistencia entrega calor constante (Q_{ent}) al aire fluyendo con un área transversal de A_t , además la resistencia tiene 5% menos de área transversal que el ducto, de esta manera se aumenta el coeficiente de convección y la velocidad del fluido, el calor obtenido por el aire es cuantificado por medio de la temperatura recogida en el sensor 1 y el sensor 2, los cuales tienen una distancia $DS2$ y $DS1$ con respecto a la resistencia, se espera un comportamiento turbulento.

8.5.4.1 Resistencia Tiramica. Se inicia determinando las características de la resistencia, está constituida por láminas de Ni-Cr 80-20, aislada eléctricamente con un aislamiento de mica y en el exterior acero inoxidable, el área de la resistencia es 5 % menor a el área del ducto principal, de este modo se asegura una mayor superficie de transmisión de calor. En la figura 39 se muestra el dimensionamiento de la resistencia con 117 mm X 117 mm y 6 orificios de diámetro de 12 mm que se colocan para obtener una mayor velocidad en esta zona y por consiguiente obtener un coeficiente de convección mayor, con esta configuración de la resistencia se obtiene un área transversal de 0.01301 m^2 dejando $6.7858e-4 \text{ m}^2$ como área del flujo de aire

Figura 23. Resistencia Tiramica.

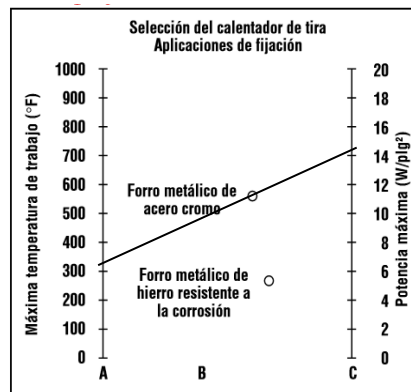


Fuente: Autor del proyecto.

Las condiciones de trabajo de la resistencia son a máximo 150°C (302°F), la temperatura del material en este caso la del ambiente de 17°C ($62,7^\circ\text{F}$) en promedio y la temperatura máxima de trabajo de la resistencia es de 648°C (1200°C) (Ref. 23). Con el diagrama de la figura 24 se puede determinar la

densidad máxima que puede tener la resistencia equivalente a de 14W/pulg² (21700 W/m²).

Figura 24. Diagrama de potencia permisible W/pulgada²



Fuente: Chromalox, Heat-loss calculations.

El valor obtenido en la figura 26 sería el máximo que podría tener la resistencia sin embargo se tiene el parámetro de potencia de entrada que es 150 W, dividiendo esta potencia por el área efectiva de calentamiento de la resistencia equivalente a las dos caras transversales de la resistencia de 0.0265 m² (A_R), se obtiene un valor de 5655 W/m²-°C requeridos las condiciones máximas del equipo.

8.5.4.2 Velocidad del fluido. Los valores típicos de coeficiente de calor para convección libre son de 2-25 W/m²-°C, a partir de 25 W/m²-°C se puede tomar como una transferencia de calor por convección forzada, la resistencia es la zona de interés donde presente un coeficiente de convección mayor a este, se determina el valor de la velocidad mínimo que debe tener el aire en un orificio de la resistencia para que este expuesto a una transferencia de calor forzada, se utilizan las ecuaciones 13 a 16 de caracterización del sistema y se despeja.

La ecuación del número de Nusselt se escribe en términos de la velocidad teniendo como número de Prandtl de 0.732 (Anexo 8)

$$Nu = \frac{hk}{D} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023 \left(\frac{DV\rho}{\mu} \right)^{0.8} Pr^{0.4} \quad (45)$$

Despejando la velocidad y remplazando por los valores correspondientes se obtiene

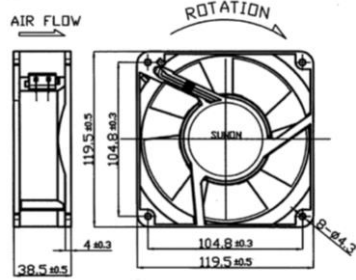
$$V = \left(0.023 \frac{hk}{Pr^{0.4} D (0.023)} \left(\frac{\mu}{D\rho} \right)^{0.8} \right)^{1.25} = 3.59 \text{ m/s} \quad (46)$$

Con esta velocidad de tiene un caudal de aire que pasa por un orificio de la resistencia con 4.06e-4 m³/s y flujo másico de 4.97e-4 Kg/s. Teniendo en cuenta que el área por donde fluye el ducto es 6.7858e-4 m² y el orificio tiene un área de 1.131e-4 m² es el 16.67% del área total por donde fluye el aire, se asume que

el flujo de aire que pasa por el orificio es el 16.67% del total de la masa para tener una aproximación del aire necesario de modo que se obtenga una transferencia de calor forzada interna, dando como resultado para el ducto de 120 mm de lado da un valor de flujo másico de 2.9814×10^{-3} Kg/s, caudal 4.43×10^{-3} m³/s, y velocidad mínima 0.215 m/s.

8.5.4.3 Caudal de entrada. Una vez obtenido el caudal mínimo para obtener una transferencia de calor forzada, se puede seleccionar un equipo que de un caudal mayor.

Tabla 15. Especificaciones técnicas del Ventilador.

Ventilador	
	
Marca	CANON
Referencia	A2123hbt-7
Proveedor	TME Electronics components
Lugar	España
Potencia (W)	22
Dimensiones mm	120x120x38
Voltaje (V)	230
Frecuencia (Hz)	60
Amper (mA)	140
Eficiencia (%)	10
RPM	2700
Caudal (m3/h)	210
Ruido (dBA)	47
P estática (mm H2O)	7.62
Peso (gr)	525

Fuente: Electronic Components

La programación de la variación del caudal está basado en las ecuaciones universales de los ventiladores para obtener un comportamiento del caudal con respecto al voltaje de entrada del ventilador regulado por el control del equipo. Como se observa en las ecuaciones 52 a 54, al modificar el voltaje de entrada cambia sus revoluciones y por consiguiente tiene un cambio proporcional a sus valores nominales.

$$\dot{q} = \dot{q}_0 \frac{n}{n_0} \quad (47)$$

$$P = P_{fo} \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \quad (48)$$

$$W = W_{fo} \left(\frac{n}{n_0} \right)^3 \quad (49)$$

Donde

\dot{q}_0 = Caudal nominal

P_{fo} = Presión nominal

W_{fo} = Potencia nominal

De esta forma se obtiene que el equipo tiene como velocidad de aire de entrada de 4 m/s.

El control de la velocidad del aire y la potencia de la resistencia se debe hacer una vez esté construido el equipo de esta forma garantizar que el equipo trabaja bajo los parámetros mencionados.

8.5.4.4 Aumento de temperatura del aire. Para determinar el diferencial de temperaturas máximo que puede tener el flujo de aire en un sistema de entrada de calor constante, se utiliza la ley de conservación de la energía. Al tener una velocidad del aire de 4 m/s en un ducto de 120 mm se genera un caudal de 0.0452 m³/s (C_{ent}), el flujo másico de 0.0554 Kg/m³, es equivalente al caudal sobre la densidad del fluido en este caso de 1.225 Kg/m³, para una temperatura promedio de 17°C (290K) (T_{ent}) del ambiente y una capacidad calorífica de 1006.43 J/Kg-°C, remplazando en la ecuación 45 se obtiene el aumento de la temperatura del aire máximo.

$$(\Delta T) = \frac{Q_{in}}{\dot{m}C_p} = \frac{150}{0.0554 * 1.225 * 1006.43} = 2.6894^\circ C \quad (50)$$

8.5.4.5 Temperatura de la resistencia. Una vez obtenido el aumento de la temperatura del fluido y el área de calentamiento del ducto, se procede a determinar la temperatura aproximada que puede tener la superficie de la resistencia, se conoce que en el orificio de la resistencia aproximadamente pasa 16.7% de la masa total de aire (0.0554 Kg/m³), por lo tanto para un flujo másico máximo en fluyendo por el orificio es 9.2518e-3 Kg/m³, con las ecuaciones del 46 al 51 se obtiene la temperatura de la superficie

La velocidad promedio se despeja con el área de orificio de 12 mm de la resistencia

$$V_{prom} = \frac{\dot{m}}{A_T \rho} = \frac{9.2518e-3}{1.131e-4 * 1.225} = 66.77 \frac{m}{s} \quad (51)$$

Una vez obtenida la velocidad promedio se caracteriza el flujo con el número de Reynolds y Nusselt teniendo un régimen turbulento con un número de Prant de 0.732 para 17°C, sabiendo que para perfiles de tubería cuadrada el diámetro equivalente para determinar el igual al lado del cuadrado Ø120mm. (Ref17.)

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = \frac{1.225 * 66.77 * 12e-3}{1.79e-5} = 54770 \quad (52)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023 * 54800^{0.8} * 0.732^{0.4} = 125.44 \quad (53)$$

El aire tiene una conductividad térmica de 2.48e-2 W/m-K, se remplaza en la ecuación y se obtiene el valor del coeficiente de convección

$$h = \frac{NuK}{D} = \frac{125 * 2.48e-2}{12e-3} = 258.82 \frac{W}{m^2K} \quad (54)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 50 para flujos internos con entrada de calor constante se obtiene la temperatura de la superficie en la entrada y salida de la resistencia (Ref.17)

Temperatura de superficie en salida de orificio de resistencia.

$$T_s = T_m + \frac{q}{h} = 292.6894 K + \frac{5655}{258.82} = 314.6894 K \quad (55)$$

Temperatura de superficie en entrada de orificio de resistencia

$$T_s = T_m + \frac{q}{h} = 290 K + \frac{5655}{259} = 311.849 K \quad (55)$$

La longitud de entrada necesaria para que el fluido entre en una región completamente desarrollada de acuerdo a las condiciones del sistema, donde la velocidad presenta un perfil homogéneo de velocidad, se determina con la ecuación 51 (ref.17) para un régimen turbulento

$$L_{hturbulento} = 1.359 D Re^{\frac{1}{4}} \quad (51)$$

Remplazando D (diámetro del salida de resistencia de 12e-3 m) y Re el Reynolds, se obtiene un valor de 220 mm de longitud necesaria para obtener el régimen desarrollado. Se determina una longitud máxima de 250 mm desde la resistencia al sensor de temperatura de salida

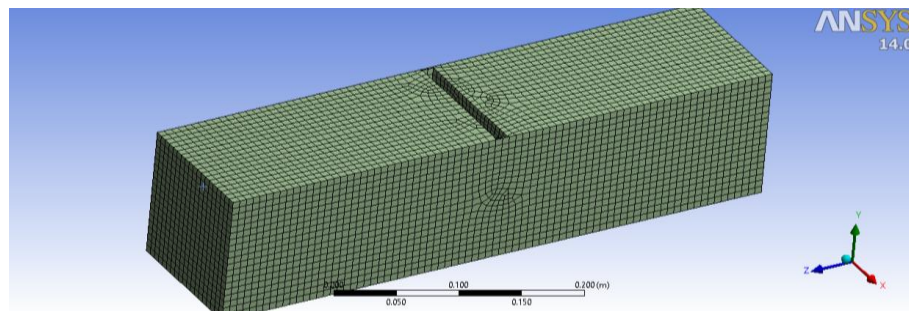
8.5.5 Simulación de comportamiento de equipo de convección. Para la simulación de funcionamiento del equipo se utiliza ANSYS FLUENT, que utiliza los modelos de comportamiento utilizados para la solución del equipo de conducción lineal y radial, para hacer la simulación y tener resultados cercanos a la realidad, se genera un sólido como volumen de control del aire dentro del ducto utilizando el software Solidworks, la creación de este volumen de control brinda la facilidad de análisis del flujo de aire a través del ducto de 120x120 mm, se exporta a ANSYS en el módulo FLUENT y se crea la malla.

Figura 25. Malla y elementos de entrada de cargas del equipo de convección.

Descripción		Valor
Aire	Densidad (Kg/m ³)	1.225
	Viscosidad (1.7894e-5
	Calor específico (J/Kg-°C)	1006.43
	Conductividad Térmica (W/m-°C)	0.0242
	Velocidad (m/s)	4
Acero Inox serie 304	Densidad (Kg/m ³)	7900
	Calor específico (J/Kg-°C)	477
	Conductividad Térmica (W/m-°C)	42.3
Ventilador	Señal PWM (%)	100
Potencia Resistencia (W/m ²)		5655

Fuente: Autor del proyecto

Figura 26. Malla y elementos de entrada de cargas del equipo de convección.



Fuente: Autor del proyecto

Tabla 16. Parámetros de malla.

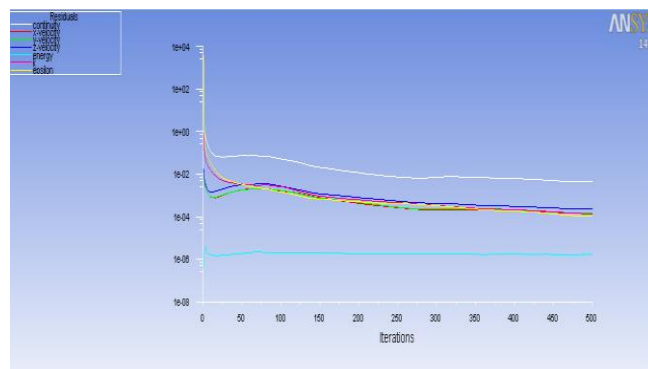
PARAMETROS DE MALLADO	Relevancia	100
	Función de tamaño	Sobre curvatura
	Centro de Relevancia	FINO
	Suavizado	MEDIO
	Transición	LENTA

	Centro de Ángulo	FINO
	Ángulo normal de curvatura	12
	Tamaño mínimo	6.2572e-5
	Máximo tamaño de cara	6.2572e-5
	Máximo tamaño	1.2534e-2
	Tasa de crecimiento	1.1625
	Número de Nodos	61742
	Número de Elementos	71398

Fuente: Autor del proyecto

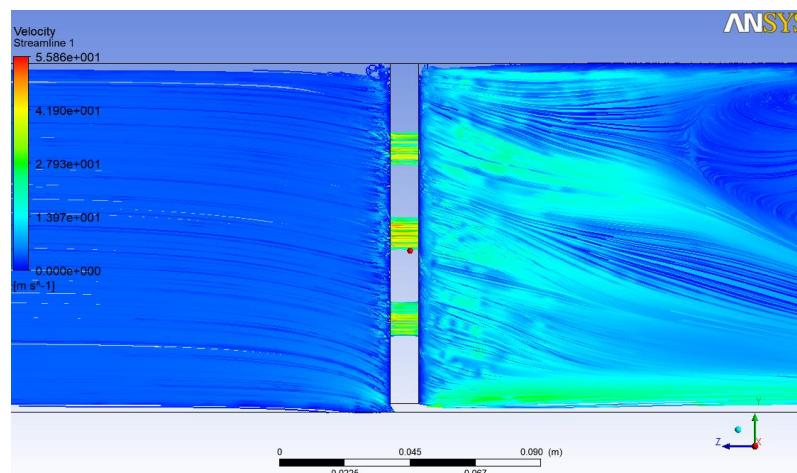
Se coloca las condiciones de entrada del equipo las cargas térmicas y otras variables de entrada para la simulación. La simulación entra en convergencia residual con $1,7\text{e-}6$ en el modelo de energía las restantes tienen un valor de $1\text{e-}4$ y $1\text{e-}2$, para 500 iteraciones.

Figura 27. Diagrama de escala residual de los modelos.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 28. Flujo de aire por el ducto principal.

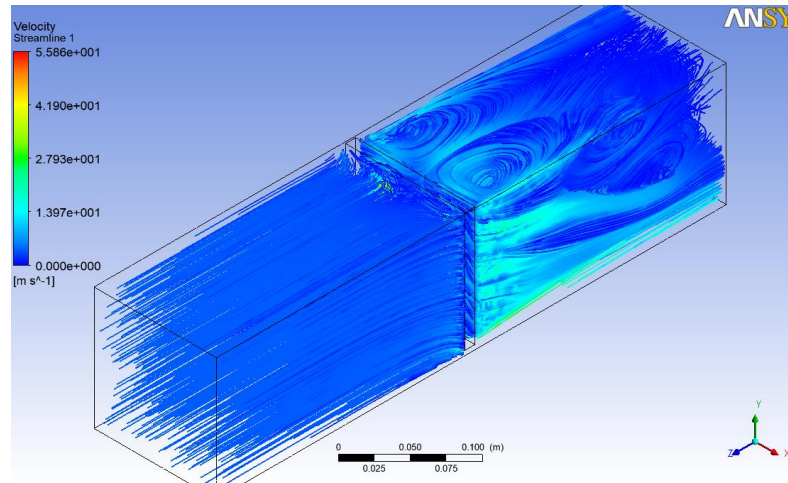


Fuente: Autor del proyecto

En la figura 30 y 31 se observa el comportamiento de la velocidad del fluido con 10000 puntos de simulación, durante el paso de los orificios de la resistencia obtiene una velocidad máxima de 55.86 m/s de velocidad máxima presentando

un error relativo al calculado de 19.53% este error es aceptable mirando que en la solución analítica se supuso un flujo de masa igual en todos los orificios y comportamiento de sistema unidimensional frente al software que soluciona en tridimensional, con está velocidad y de acuerdo a su geometría, presenta un coeficiente de convección de $224.66 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ con error relativo de 13.2% coherente frete al error de velocidad,

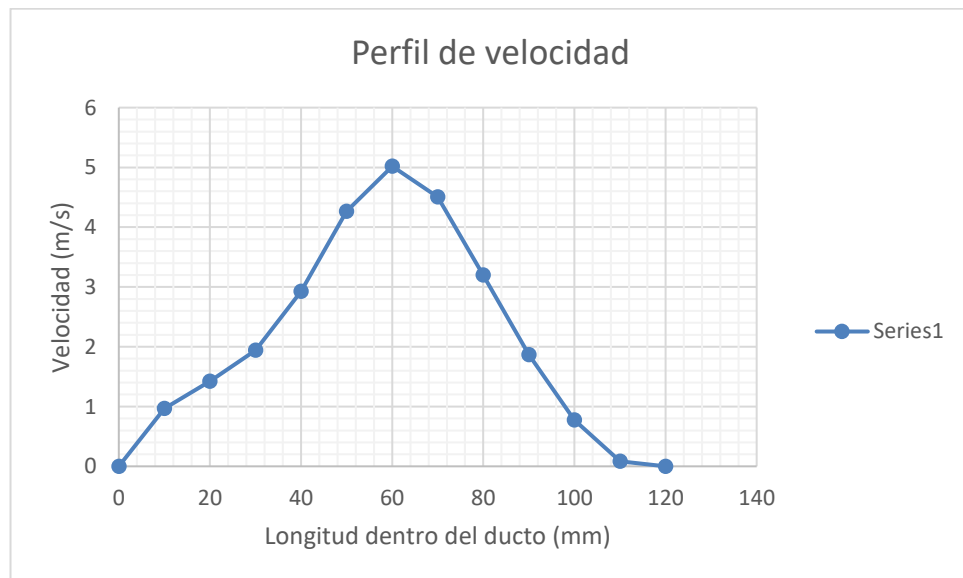
Figura 29. Flujo de aire por el ducto principal.



Fuente: Autor del proyecto

La salida del fluido a 250 mm de la resistencia debe presentar un comportamiento totalmente desarrollado, en la figura 32 se observa que el régimen es aceptable para suponer que el sensor en la mitad del ducto a 250 mm de la resistencia presentará valores constantes y confiables por su régimen desarrollado

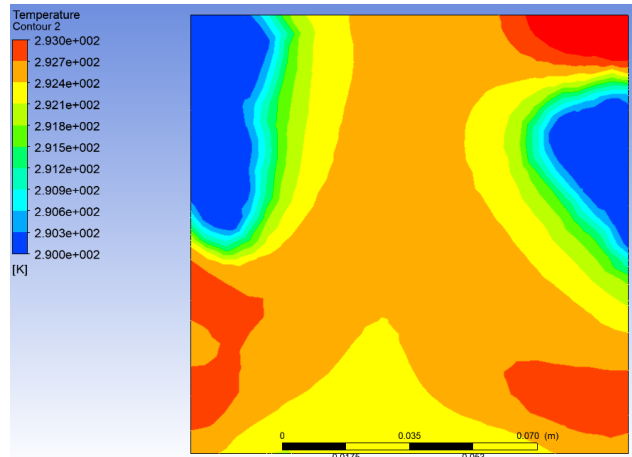
Figura 30. Diagrama de velocidad dentro de la superficie



Fuente: Autor del proyecto

Una vez encontrado el punto de ubicación del sensor de salida, se puede observar el comportamiento de la temperatura como se observa en la figura 33.

Figura 31. Comportamiento de la temperatura en régimen desarrollado.

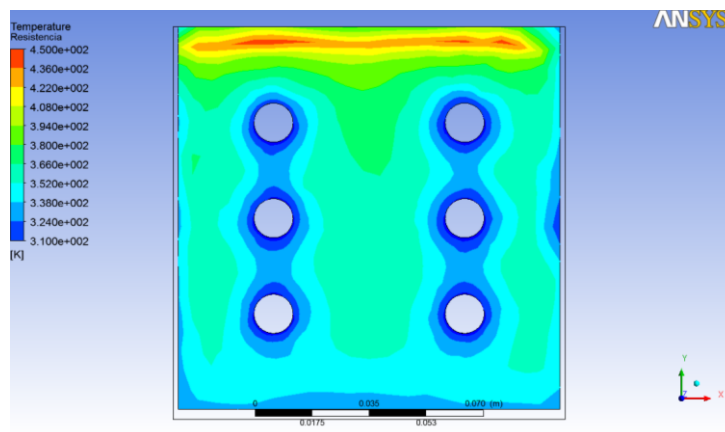


Fuente: Autor del proyecto

La temperatura en el centro del ducto es igual a 292.467, lo que significa que el aire tiene un aumento de temperatura de 2.467 un 9% de error relativo.

8.5.5.1 Temperatura de trabajo de la resistencia. La temperatura de la resistencia varía en consecuencia de la velocidad del aire y la cantidad de masa que fluye. Ya que está resistencia tiene una entrada de potencia constante por medio de la energía eléctrica de alimentación la temperatura aumenta en consecuencia de su entorno, a medida que tiene contacto con una mayor cantidad de masa menor es su temperatura de superficie, en la figura 34 se muestra la temperatura de trabajo de la resistencia con un flujo de caudal constante máximo del ventilador.

Figura 32. Temperatura de la resistencia con flujo máximo del ventilador.



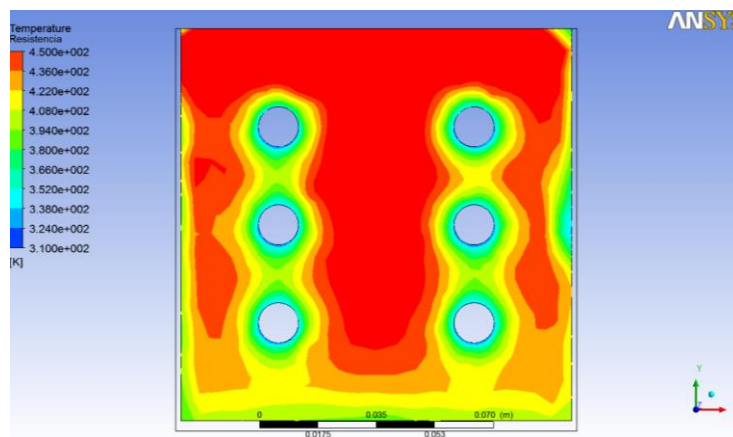
Fuente: Autor del proyecto

Como se observa en la figura 34 la temperatura máxima a la que llega la resistencia es de 177°C (450K), teniendo un comportamiento aceptable dentro de los requisitos de diseño, esta temperatura es menor teniendo en cuenta que

la resistencia pierde calor por el contacto con el ducto y los tornillos de sujeción además de la zona que no está en contacto con el fluido o zona fría, lo que conlleva a disipar el calor por estas zonas.

Utilizando las ecuaciones las ecuaciones 52 a 54, se puede obtener el caudal para el fluido a una velocidad mínima de 1 m/s, se utiliza esta velocidad mínima debido a que con valores más bajos se puede comprometer la eficiencia del ventilador, trabajando a 660 RPM, potencia de 6W generando un caudal de 0.0144 m³/s, en la figura 35 se puede observar el comportamiento de la temperatura de la resistencia con este caudal.

Figura 33. Comportamiento de la resistencia a 1m/s de velocidad de entrada del fluido



Fuente: Autor del proyecto

Como se observa en la figura 35 la temperatura máxima sigue siendo la misma pero se presenta en mayor zona de la resistencia.

El equipo de convección puede ser utilizado por el estudiante cambiando la potencia de entrada y salida de la resistencia y el ventilador, de esta manera poder obtener los coeficientes de convección, número de Reynolds, Nusselt, bajo diferentes condiciones de trabajo, la transformación de la energía eléctrica a calórica y las eficiencias de estos sistemas, además poder observar el comportamiento de la temperatura de la superficie de un sistema sometido a flujo de calor constante encontrados en diferentes literaturas (Ref.17).

8.5.6 Aislamiento de zona de temperatura. La resistencia está ubicada en la zona central del equipo, este punto es el de mayor temperatura, se coloca sólo material aislante en esta zona, por esta razón solo esta zona es la aislada. La temperatura de la resistencia se puede tomar constante como si toda la zona tuviera 177°C, y se desea que la superficie exterior del aislamiento sea máximo 40°C con una pérdida de calor de 1W.

El lugar de mayor área expuesta es la parte superior de la resistencia donde está sujeta por los tornillos de sujeción con el ducto, esta zona tiene un área de 2.574e-3 m² debido a que tiene una longitud de 117 mm y 22, de acuerdo a las

dimensiones de la resistencia habladas anteriormente, utilizando la ecuación de Fourier para una placa plana, se halla el espesor del aislamiento de fibra de vidrio para la zona con mayor área y temperatura.

$$L = \frac{kA\Delta T}{Q} = \frac{2.574e - 3 * 0.04 * 137}{1} = 14.1e - 3 \text{ m} \quad (55)$$

8.5.7 Elementos de sujeción y otros componentes. En el anexo 6 se muestran el diseño de los otros elementos o componentes del equipo

8.6 DISEÑO DE EQUIPO DE RADIACIÓN TÉRMICA

8.6.1 Requisitos de equipo radiación térmica. De acuerdo los temas abordados en cada universidad, la indagación de profesionales con experiencia en el campo y antecedentes de equipos fabricados, se puede establecer requisitos académicos y de funcionamiento.

Equipo de Transferencia de calor por Radiación Térmica:

- Determinar Coeficiente de emisividad de material receptor
- Determinar Coeficiente de Absortividad y Reflectividad
- Generar Radiación térmica entre dos cuerpos
- Demostrar la ley de Lambert
- Demostrar ley de Sthephan Boltzmann

Requisitos para todos los equipos:

- El equipo debe presentar confiabilidad en las mediciones experimentales
- El funcionamiento del equipo es acorde a las instalaciones eléctricas y de agua del Laboratorio de la Universidad Libre
- El equipo debe tener bajo costo.
- Debe presentar un pequeño tamaño para su fácil manipulación
- Debe garantizar la seguridad del estudiante
- No tener un alto peso

8.6.2 Condiciones de operación.

Tabla 17. Condiciones de operación del equipo de radiación termica.

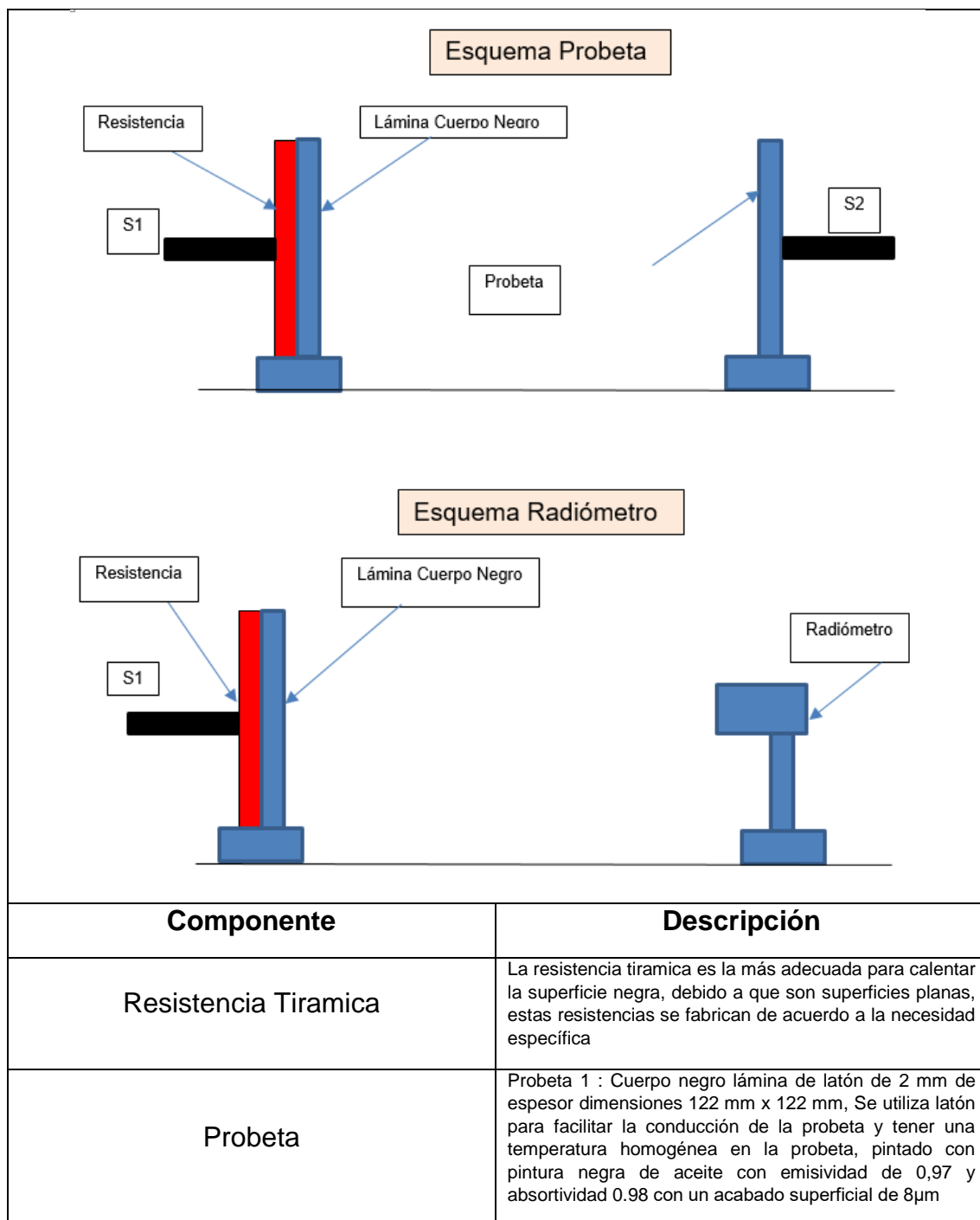
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	OBSERVACIÓN
Voltaje de trabajo (V)	220	Los laboratorios de la universidad pueden entregar 220 V
Temperatura Máxima (°C)	200°C	Esta es la temperatura máxima deseada en la fuente de calor, ya que la resistencia es la zona que se presume que va a tener una mayor

		temperatura, se utiliza este valor de tal manera que el equipo no requiera de un espesor muy grande de aislamiento para garantizar la seguridad del estudiante. Para el cumplimiento del equipo no es necesario tener temperaturas altas para demostrar el fenómeno.

Fuente: Autor del proyecto

8.6.3 Diseño básico del equipo de radiación térmica.

Tabla 18. Diseño básico de equipo de radiación térmica.

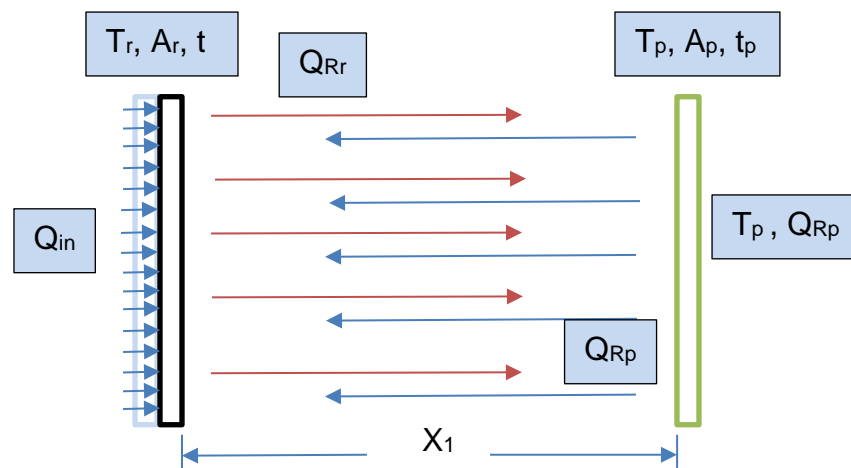


	<p>Probeta 2: Cuerpo blanco aluminio pulido de 2 mm de espesor dimensiones 122 mm x 122 mm. Coeficiente de absorptividad 0.09 y emisividad 0.03</p> <p>Probeta 3 y 4: dos probetas de acero al carbono de 122 mm x 122 mm, acabado superficial esmerilado y laminado con emisividad de 0.24 de emisividad y 0.87 de emisividad respectivamente.</p>
Lámina de cuerpo negro	Cuerpo negro lámina de latón de 2 mm de espesor dimensiones 122 mm x 122 mm, Se utiliza latón para facilitar la conducción de la probeta y tener una temperatura homogénea en la probeta, pintado con pintura negra de aceite con emisividad de 0.97 y absorptividad 0.98 con un acabado superficial de 8µm.
Sensores (S1 y S2)	Los sensores los sensores deben están en el centro de la probeta y la resistencia para tener la temperatura máxima, se asume que la temperatura de la resistencia es igual a la de la lámina.
Radiómetro	Sensor de cantidad de radiación, se debe seleccionar con un buen margen de densidad de potencia. Se usa para demostrar ley de Stefan Boltzmann y ley de Lamberth.

Fuente: Autor del proyecto

8.6.4 Diseño en detalle de Equipo de Radiación.

Figura 34. Diseño básico y diagrama de cargas térmicas del sistema



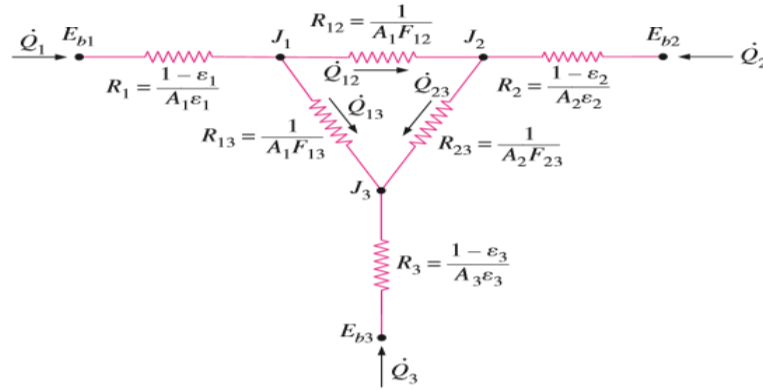
Fuente: Autor de proyecto

La resistencia tiramica transfiere calor (Q_{in}) a la lámina del radiador térmico con 2 mm de espesor (t), aumentando su temperatura (T_r), de acuerdo a sus espesores se puede interpretar como igual a la de la temperatura de la resistencia térmica, la radiación de calor del radiador de calor (Q_{Rr}) irradia calor hacia la probeta con una temperatura T_p , Esta probeta irradia calor de acuerdo a la ley de Stefan Boltzmann (Q_{Rp}). El área de radiación es la misma para las dos superficies plana la distancia mínima deseada es de 300 mm (X_1) para cualquier experimento.

En la figura se puede observar el sistema simbolizado de manera análoga con un circuito eléctrico En este caso específico R_3 es cero obteniendo $J_3 = E_{b2}$, debido a que en este punto se tiene el ambiente con temperatura constante. E_{b1}

es la radiación máxima que puede irradiar el radiador de calor y E_{b2} es la radiación máxima que puede transmitir la probeta o el radiómetro a temperatura ambiente.

Figura 35. Esquema de recinto cerrado de tres superficies



Fuente: *Transferencia de calor, Cengel. Cap 8.*

8.6.4.1 Factor de visión. El equipo utiliza el esquema de superficies planas con mismas áreas las cuales tienen un factor de visión, el cual es un coeficiente que muestra la proporción de radiación térmica que se está transmitiendo entre dos superficies. Los valores se remplaza la relación de lado y distancia con un valor de 0.4066

$$\bar{X} = X/L \text{ y } \bar{Y} = Y/L$$

$$F_{i \rightarrow j} = \frac{2}{\pi \bar{X} \bar{Y}} \left\{ \ln \left[\frac{(1 + \bar{X}^2)(1 + \bar{Y}^2)}{1 + \bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \right]^{1/2} + \bar{X}(1 + \bar{Y}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{(1 + \bar{Y}^2)^{1/2}} + \bar{Y}(1 + \bar{X}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{Y}}{(1 + \bar{X}^2)^{1/2}} - \bar{X} \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \tan^{-1} \bar{Y} \right\} \quad (56)$$

Remplazando los valores en la ecuación se obtienen un valor de $F_{1-2} = 0.0475$ y por regla de la suma se obtiene el valor de $F_{1-3} = F_{2-3} = 0.9524$, una vez obtenido los factores de visión respectivos, se determina las resistencias utilizando las ecuaciones que se muestran en la figura 36. Teniendo en cuenta que el coeficiente de la placa del radiador térmico es 0.97 para la caracterización del equipo se toma como cuerpo negro la otra superficie de tal manera que se obtienen la mayor cantidad de potencia de radiación emitida y recibida.

$$R_1 = R_2 = \frac{1 - 0.97}{0.014884 * 0.97} = 2.078 \quad (57)$$

$$R_{1-2} = \frac{1}{0.014884 * 0.0475} = 1413.211 \quad (58)$$

$$R_{1-3} = R_{2-3} = \frac{1}{0.014884 * 0.9524} = 70.54 \quad (59)$$

Una vez se determinan las resistencias del sistema, se procede a hallar el valor del total de radiación que pueden transmitir cada uno de los cuerpos teniendo como valor de constante de Stefan Boltzmann de $5.67e-8$

$$E_{b3} = E_{b2} = \sigma T^4 = 5.67e-8 * 290^4 = 401 \frac{W}{m^2} \quad (60)$$

8.6.4.2 Selección de sensor de radiación. Se debe obtener limitar la capacidad de radiación que puede generar el radiador, se selecciona un radiómetro o termopila con un buen máximo de radiación térmica y que es muy sencillo de usar e interpretar.

Tabla 19. Especificaciones de termopila o sensor de radiación.

	
Rango espectral	0.2 a $50\mu m$
Sensibilidad	7 a 20 $\mu V/W/m^2$
Rango de salida (0 a $1500 W/m^2$)	0 a 30 mV
Máxima radiación	$2000 W/m^2$
Tiempo de respuesta	18 seg
Superficie Negra	Φ 15 mm

Fuente: KIPP y Zonen.catalogo

De acuerdo a las especificaciones técnicas, la termopila tiene un rango amplio de medición lineal de radiación dando un rango de medición para la obtención de datos de 1mV equivale a 50 W/m².

8.6.4.3 Radiosidades. De la figura 35 se observa que se puede utilizar como en la solución de circuitos la sumatoria de flujos en los nodos J1, J2 y de esta forma determinar las radiosidades

$$\text{Nodo } J1: \frac{E_{b1} - J_1}{2.08} + \frac{J_2 - J_1}{1413.21} + \frac{E_{b3} - J_1}{70.54} = 0 \quad (61)$$

$$\text{Nodo } J2: \frac{J_1 - J_2}{1413.21} + \frac{E_{b3} - J_2}{70.54} + \frac{E_{b2} - J_2}{2.08} = 0 \quad (62)$$

Como no se tiene la temperatura de la superficie del radiador de calor se vuelve un sistema de ecuaciones sin solución, sin embargo al tener el máximo de radiación térmica que debe tener el equipo de 2000 W/m² del radiador ya que sobre pasa este valor afectaría al sensor, por esta razón se determina la máxima potencia que puede transferir el equipo con el área de superficie del radiador de calor.

$$P_{max} = 2000 * 0.014884 = 29.768 \text{ W} = \frac{E_{b1} - J_1}{2.08} \quad (63)$$

Este valor se remplace en el sistema de ecuaciones y se resuelve, obteniendo los valores correspondientes a la radiosidad de cada componente de $J_1 = 2401.14273 \text{ W/m}^2$ y $J_2 = 403.85977944 \text{ W/m}^2$. Por otro lado se obtiene el valor máximo de radiación de calor del radiador de calor despejando E_{b1} de la ecuación 63 y obteniendo la temperatura máxima que tiene la superficie cuando transmite esta radiación térmica.

$$E_{b1} = P_{max} * 2.08 + J_1 = 29.768 * 2.08 + 2401.1427 = 2462.998 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (64)$$

Teniendo como temperatura máxima del equipo

$$T_{Rc} = \frac{E_{b1}}{\sigma} = \frac{2462.998}{5.67e - 8} = 456.537 \text{ K } (183.537^\circ\text{C})$$

8.6.4.4 Aislamiento del equipo. Teniendo el área transversal de la resistencia de 0.0149 m² y temperatura máxima de 183.537°C donde se quiere que la temperatura externa de aislamiento sea 40°C, se desea que en la superficie más grande con esta temperatura no se presente una pérdida de energía superior a 3W, se obtiene un espesor mínimo de 28.52 mm de espesor mínimo

$$L = \frac{kA\Delta T}{Q} = \frac{0.04 * 0.0149 * (183.537 - 40)}{3} = 28.52e - 3 \text{ m} \quad (66)$$

El aislamiento mayor más cercano comercialmente es 38,1 mm (1.5 pulg) con este espesor se puede obtener una pérdida de energía de 2.24 W.

8.6.4.5 Resistencia térmica. Teniendo en cuenta la temperatura de trabajo y el área del radiador de calor, se puede determinar la potencia requerida de la resistencia del equipo para tener esta temperatura. La resistencia debe tener como mínimo la potencia que está transmitiendo el radiador más la pérdida que tiene directamente con el ambiente por convección, dentro del laboratorio se puede tomar un coeficiente de convección de 3 W/m²-°C debido a que no se presentan corrientes fuertes.

$$Q = hA_t(T_s - T_{amb}) + Q_r = 3(183.537 - 17) + 2462.998 \frac{W}{m^2} = 2962.61 W$$

Esto es equivalente a una potencia de 44.1 W que debe transmitir en una cara de la resistencia, se selecciona un área de contacto de la resistencia y la placa del radiador igual.

Tabla 20. Especificaciones de Resistencia.

Descripción	Valor
Potencia (W)	44W
Densidad de Potencia(W/in ²)/(W/m ²)	2/2963
Material de camisa metálica	AISI 304
Área de Radiación (m ²)	0.0298
Dimensiones (mm)	122x122

Fuente: Autor del Proyecto

Por otra parte el radiador térmico presenta un sensor de temperatura que ayuda a controlar el sistema, este sensor toma la temperatura en el centro de la resistencia, esta temperatura varía con respecto a la temperatura de la superficie de radiación por lo tanto se debe obtener la ecuación de transferencia del sistema para su posterior control.

8.6.5 Simulación de equipo de Radiación. Se genera una simulación en estado estacionario utilizando la herramienta “Steady-State Thermal” de ANSYS utilizando la temperatura máxima del radiador, Se crea dos superficies planas, la superficie de la probeta permanece constante a 290 K (17°C) y la superficie del radiador de calor con 456.537 K (183.537°C).

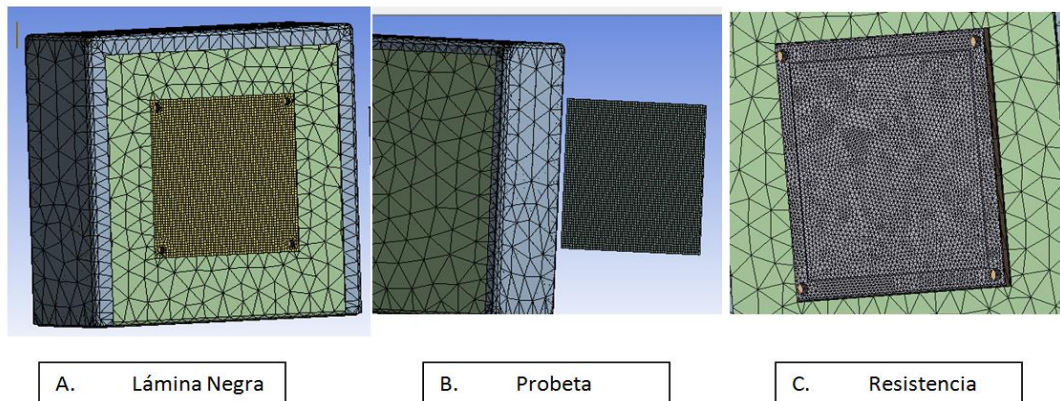
8.6.5.1 Creación de Malla Para simulación. En la tabla 20 se muestra las especificaciones de la malla.

Tabla 21. Parámetros de malla.

PARAMETROS DE MALLADO	Relevancia	0
	Función de tamaño	NO
	Centro de Relevancia	Grueso
	Suavizado	MEDIO
	Transición	Rápida
	Centro de Ángulo	Grueso
	Longitud de esquina mínima	4e-4
	Método	Hexagonal en Radiador y Probeta
	Tamaño de cara en Radiador (mm)	2e-3
	Tamaño de cara en Resistencia (mm)	2e-3
	Tamaño de cara en Probeta (mm)	2e-3
	Número de Nodos	147823
	Número de Elementos	62721

Fuente: Autor del proyecto

Figura 36. Malla del sistema de equipo de Radiación.



Fuente: Autor del proyecto

8.6.5.2 Simulación del sistema máxima temperatura. En la tabla 20 se muestra las cargas térmicas utilizadas.

Tabla 22. Cargas térmicas.

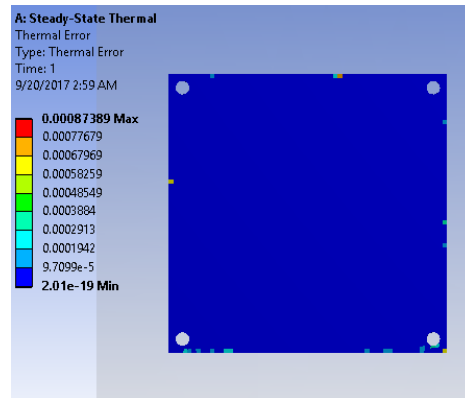
Elemento	Carga	
a. Lámina Negra	Emisividad Radiador	0.97
	Temperatura (°C)	183.537°C
b. Probeta	Emisividad Probeta	0.97
	Temperatura Inicial (°C)	17

C. Resistencia	Potencia (W/m ²)	0
----------------	------------------------------	---

Fuente: Autor del proyecto

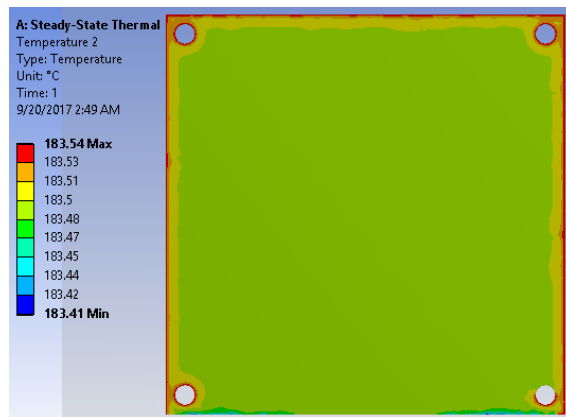
Se genera la simulación con 1000 iteraciones entrando en convergencia a $1e-6$ de los valores residuales, En la figura 40 se puede observar el valor error de la simulación y en la 41 se observa la temperatura del radiador térmico, teniendo un comportamiento satisfactorio.

Figura 37. Diagrama de valores de Error térmico.



Fuente: Autor del proyecto

Figura 38. Temperatura de la probeta



Fuente: Autor del proyecto

La radiación neta de la simulación del radiador de calor presenta un valor de 29.567 con un error no significativo y una radiación neta de la probeta de -1.355 con un valor relativo de 1.3%. Confirmando que la temperatura máxima que puede llegar en el momento de hacer el experimento de Stefan Boltzmann y de la distancia al cuadrado con el radiómetro la temperatura del radiador debe ser menor a 183°C (456K).

8.6.5.3 Simulación en estado Transitorio. Debido a que el radiador de calor tiene una temperatura inicial igual a la temperatura ambiente, con el tiempo en el momento de encendido la temperatura aumentará, esto genera que la temperatura de la probeta aumente con el tiempo, la ecuación presenta un

cuerpo expuesto a convección, radiación y generación de energía lo que conlleva a tener un aumento de la temperatura hasta llegar a su estado estable.

Se utiliza el mismo sistema y la malla creada para la simulación en estacionario anteriormente mencionado, a continuación se presentan las cargas para el sistema en modo transitorio. Teniendo un coeficiente de convección de $3\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ que afecta a la superficie que está transmitiendo radiación, superficie del aislamiento térmico y de la probeta.

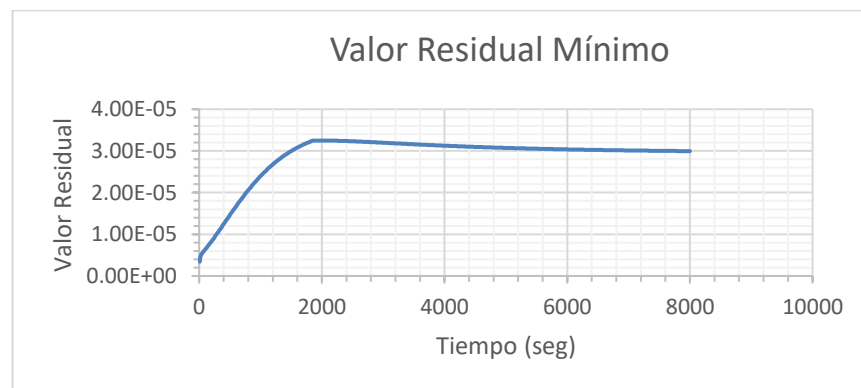
Tabla 23. Cargas térmicas

Elemento	Carga	
a. Lámina Negra	Emisividad Radiador	0.97
	Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$)	17
b. Probeta	Emisividad Probeta	0.97
	Temperatura Inicial ($^\circ\text{C}$)	17
c. Resistencia	Potencia (W/m^2)	2962.61
d. Convección	Coeficiente de Convección ($\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$)	3

Fuente: Autor del proyecto

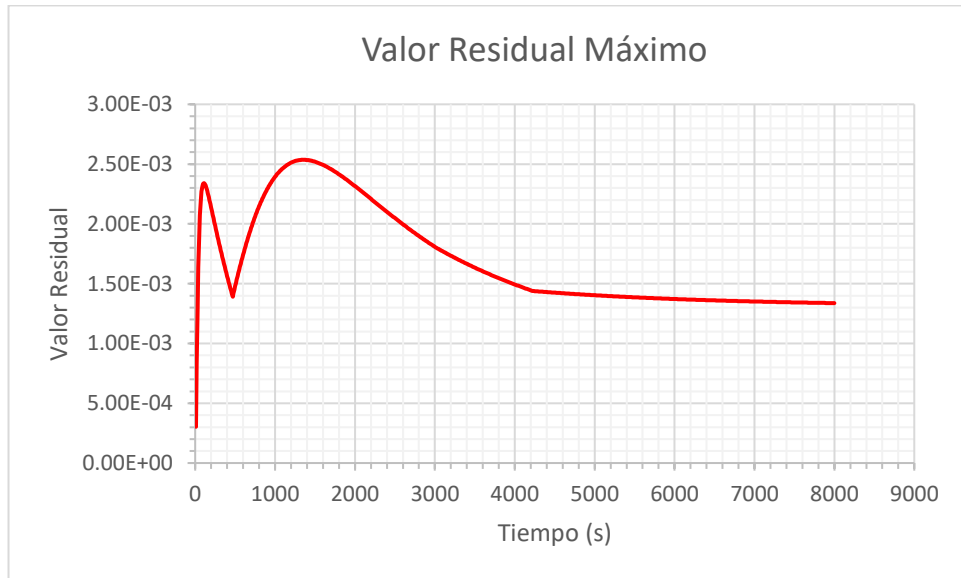
Se genera la simulación teniendo un paso de 10 s con un máximo de 1000 iteraciones y un límite de convergencia de $1\text{e-}6$ de valor residual de flujo convergente.

Figura 39. Valores de convergencia mínimos de simulación en estado transitorio



Fuente: Autor del proyecto

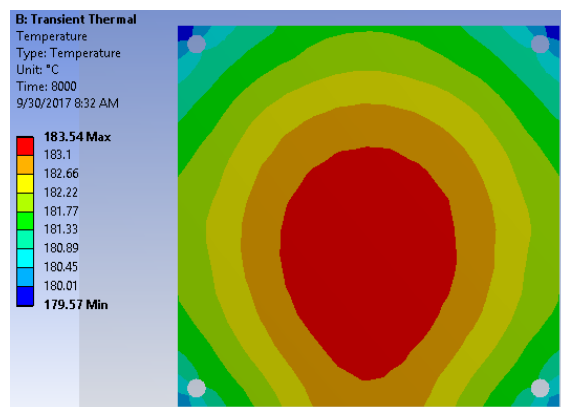
Figura 40. Valores de convergencia máximos de simulación en estado transitorio



Fuente: Autor del proyecto

8.6.5.4 Radiador de Calor. El radiador de calor presenta una temperatura casi homogénea en su superficie, como se había previsto por la geometría del sistema la resistencia y el radiador presentan la misma temperatura (Ver perfil de temperaturas resistencia Anexo 7), la ubicación del sensor debe ser en el centro de la resistencia para obtener en cada instante la máxima temperatura del radiador de calor.

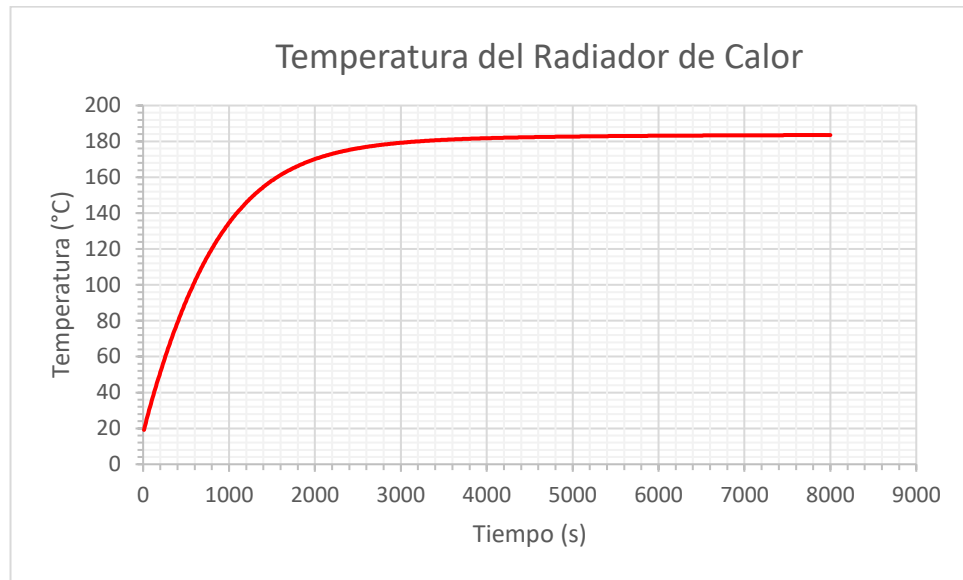
Figura 41. Perfil de temperaturas en Radiador de Calor



Fuente: Autor del proyecto

A continuación se muestra el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo.

Figura 42. Temperatura del Radiador de Calor.



Fuente: Autor del proyecto

La temperatura del equipo es la deseada utilizando la potencia que se seleccionó en el numeral 8.5.3.5 de la resistencia lo que conlleva a validar el comportamiento de este componente.

Por otra parte la potencia neta que transmite el radiador es de 29.201 W que corresponde a un error relativo de 1.9% el cual es satisfactorio para demostrar que la temperatura máxima de trabajo no puede ser mayor a 183.537W de modo que no se afecte la termopila (en el anexo 7 se muestra la radiación Emitida, radiación reflejada e conducida)

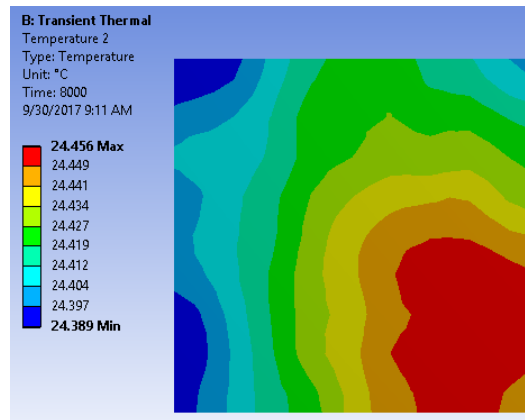
Figura 43. Radiación térmica del Radiador de Calor.



Fuente: Autor del proyecto

8.6.5.5 Comportamiento de la probeta. La probeta sube su temperatura debido a la constante radiación térmica que transmite el radiador de calor, se puede determinar las características de radiación térmicas de la probeta de acuerdo a su temperatura final sabiendo la potencia que se el radiador está transmitiendo.

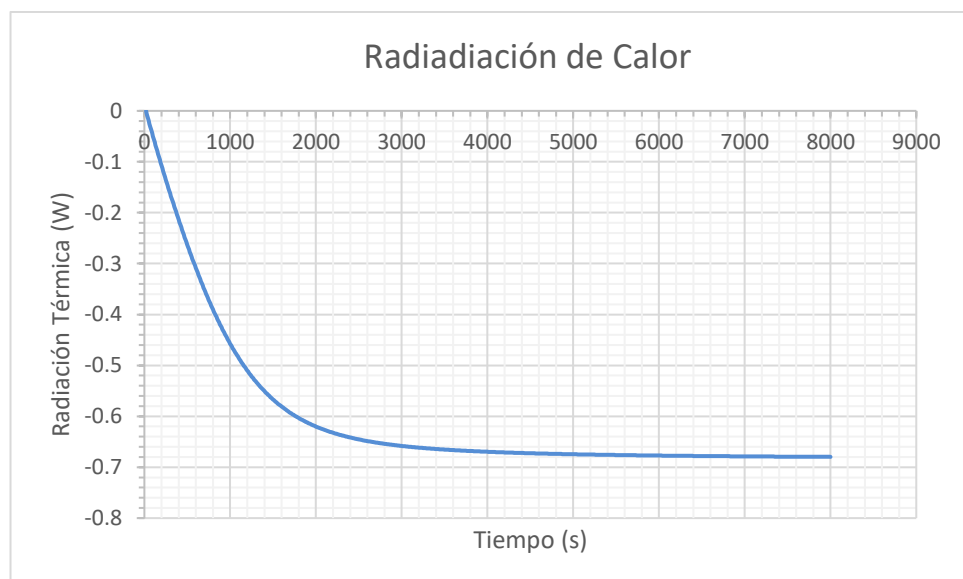
Figura 44. Temperatura de Probeta.



Fuente: Autor del proyecto

Se observa que la probeta tiene una temperatura homogénea, la cual por medio de un sensor PT100 se puede visualizar en tiempo real, este sensor está ubicado en el centro de la probeta en la cara posterior a la superficie expuesta a radiación térmica.

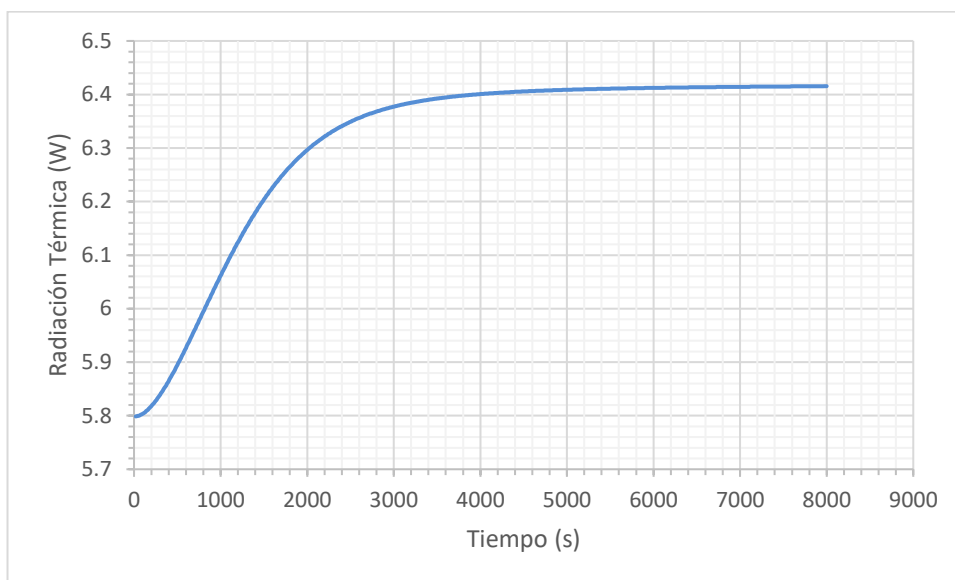
Figura 45. Radiación neta de la probeta



Fuente: Autor del proyecto

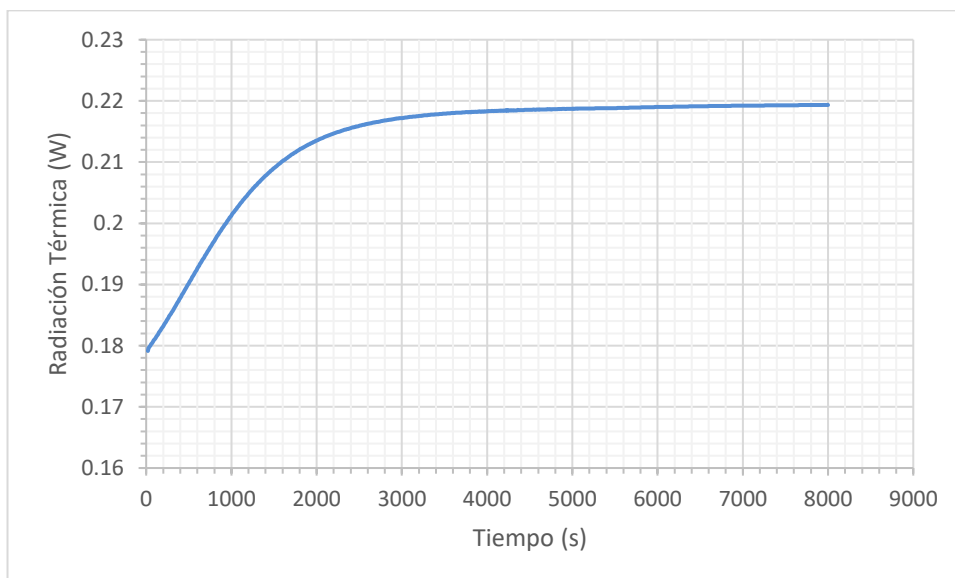
Con la temperatura final y el calor que transmite el radiador de calor se puede obtener las potencias de la radiación reflejada, absorbida y emitida.

Figura 46. Radiación emitida de la probeta



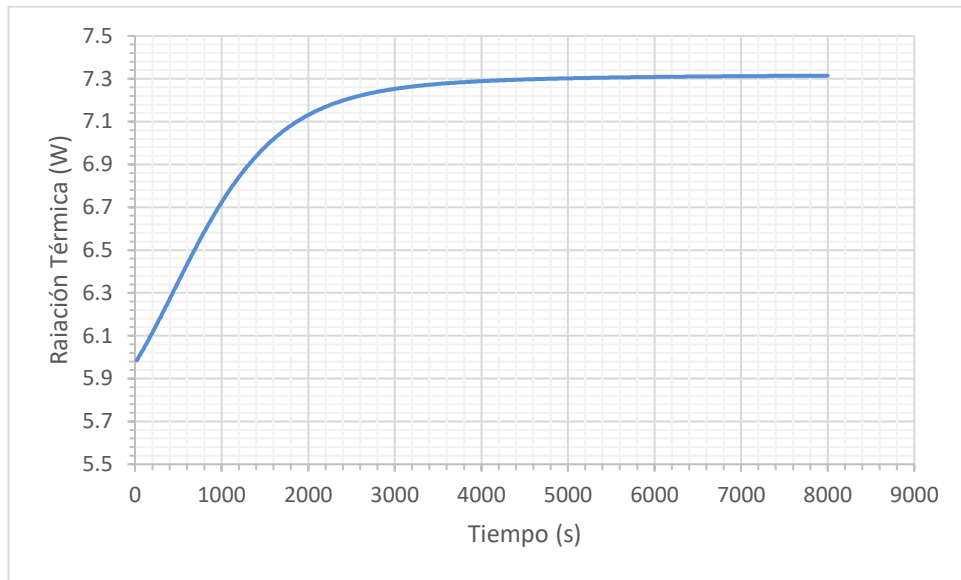
Fuente: Autor del proyecto

Figura 47. Radiación reflejada de la probeta



Fuente: Autor del proyecto

Figura 48. Radiación absorbida de la probeta



Fuente: Autor del proyecto

Estos valores son obtenidos de acuerdo a su coeficiente de emisividad teniendo en cuenta la ley de Kirchhoff, como se observa en la figura 45 la radiación neta es muy baja, esto se debe a que la radiación emitida y la absorbida son casi del mismo valor, lo que conlleva a cumplir con las características de un cuerpo negro donde emite toda la energía y al mismo tiempo absorbe toda la energía. De esta forma se caracteriza el material de las otras probetas.

8.6.6 Elementos de sujeción y otros componentes. En el anexo 6 se muestran el diseño de los otros elementos o componentes del equipo

9. DISCUSIÓN

9.1 EQUIPO DE CONDUCCIÓN LINEAL

- Las características de funcionamiento y parámetros de diseño del equipo garantizan el aprendizaje del estudiante, debido a que se cumple con el fenómeno de conducción lineal, el cambio de las dimensiones y material de la probeta, con esto se entregan pautas al estudiante para encontrar el cambio de la conductividad térmica del material con respecto a la temperatura.

- Los experimentos del equipo cumplen con los requisitos académicos cumpliendo con la conducción lineal y la determinación de conductividad térmica.
- Los componentes diseñados cumplen con los parámetros de comportamiento deseados, teniendo en cuenta que el equipo presenta un peso de 12 Kg y unas dimensiones adecuadas para el laboratorio, no es necesario la implementación o la instalación de ductos u otras herramientas debido a que se diseñó exclusivamente para el laboratorio de la Universidad Libre
- La validación del comportamiento presento resultados satisfactorios entregando información importante para complementar los diseños del equipo, los componentes cumplen con los objetivos primordiales al tener la potencia adecuada y temperaturas de trabajo para presentar la información exacta al estudiante.
- El control del equipo debe realizarse con el prototipo ya construido, debido a las características de los componentes según el fabricante, se caracteriza el comportamiento del equipo en condiciones reales para que trabaje en los parámetros establecidos en este proyecto.
- El área de contacto del agua puede obtener una eficiencia más alta al acondicionar las características de entrada del líquido de enfriamiento, donde se puede tener alternativas de líquido refrigerantes o una mezcla de agua con estos.
- Al trabajar con temperaturas bajas la resistencia cartucho puede tener un tiempo de vida mucho más largo.
- No se presentan planos eléctricos ni electrónicos debido al alcance del proyecto.
- Se debe realizar el acondicionamiento del software de visualización y adquisición de datos, además de los módulos de potencia y control.
- El equipo está sujeto a mejoramiento en el control del caudal, además de la implementación de más probetas de experimentación.

9.2 EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL

- Las características de funcionamiento y parámetros de diseño del equipo garantizan el aprendizaje del estudiante, debido a que se cumple con el fenómeno de conducción radial.
- Las características de potencia de la resistencia y las dimensiones diseñadas entregan la energía necesaria para las condiciones máximas y mínimas del equipo. La potencia puede ser más alta para disminuir el tiempo de estabilización pero se tiene que tener en cuenta las temperaturas de sobrecalentamiento por el “verso”, debido a que se llegará a temperaturas más altas que las estipuladas en el diseño
- Se debe generar un diseño del control y programación de la adquisición de datos y visualización, esto se debe realizar en condiciones reales para caracterizar el comportamiento de la resistencia y sensores.
- La simulación del equipo presenta una diferencia de temperatura de 42 ° C, en un tiempo de estabilización de 3000 segundos, cumpliendo con los parámetros establecidos y validando los diseños de cada componente del equipo.
- No se presentan planos eléctricos ni electrónicos debido al alcance del proyecto.
- El equipo está sujeto a mejoramiento en el control del caudal, además de la implementación de más probetas de experimentación.

9.3 EQUIPO DE CONVECCIÓN

- Las características de funcionamiento y parámetros de diseño del equipo garantizan el aprendizaje del estudiante de acuerdo a los requisitos académicos y de funcionamiento, ya que se cumple con el fenómeno de convección forzada, se puede determinar el coeficiente de convección y la caracterización del flujo, por otro lado obtener la transferencia de calor en un flujo interno con calor constante.

- La simulación valida el comportamiento del equipo, la resistencia no tiene un sobrecalentamiento y se existe una transferencia de calor forzada en el sistema, se debe de tener en cuenta la eficiencia que tiene la resistencia en la experimentación real, de acuerdo a los equipos investigados el calentamiento con superficie plana está entre los 15% a 30%, sin embargo la resistencia del equipo tiene una superficie plana pero con orificios donde se aumenta la velocidad lo que genera que se incremente el coeficiente de convección y por consiguiente la eficiencia del sistema de calentamiento
- Se debe caracterizar y programar la resistencia y el ventilador del equipo, de modo que se pueda controlar la potencia de entrada, caudal de entrada para tener una margen amplio de experimentación en el equipo cambiando sus condiciones de entrada.
- No se presentan planos eléctricos ni electrónicos debido al alcance del proyecto.
- El equipo está sujeto a mejoramiento en el control, además de la implementación de diferentes tipos de áreas de contacto en la resistencia.

9.4 EQUIPO DE RADIACIÓN

- Las características de funcionamiento y parámetros de diseño del equipo garantizan el aprendizaje del estudiante, el equipo genera radiación utilizando una configuración geométrica de rectángulos paralelos alineados con probetas con diferentes tipos de emisividad y acabado superficial, la cual cambia con respecto a la distancia de la probeta con el radiador. Por otro lado se puede demostrar la ley de Stephan Boltzman por medio del cambio de la radiación obtenida con la pila térmica.
- Las características de potencia de la resistencia en contacto con la superficie del radiador térmico entregan las condiciones necesarias para hacer la experimentación, por otro lado los límites de trabajo de la termo pila brindan un amplio rango de condiciones máximas y mínimas del

equipo. Se debe caracterizar cada sensor utilizado de modo que la interfaz de información sea lo más preciso posible.

- Las condiciones de trabajo de los componentes fueron satisfactoriamente validadas con la simulación en elementos finitos, cada componente trabaja a la temperatura y potencia deseada, presentando un error bajo a lo deseado, se puede generar un control de temperatura para disminuir el tiempo de estabilización, pero se debe realizar con el equipo en físico, debido al cambio de la radiación con respecto al aumento de la temperatura de la probeta y la superficie del radiador de calor para tener una mayor precisión en el equipo, este control se debe realizar teniendo en cuenta que la temperatura del radiador no debe sobrepasar 183°C.
- No se presentan planos eléctricos ni electrónicos debido al alcance del proyecto.
- El equipo está sujeto a implementación de más probetas de experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

1. PATIÑO, Luisa; ESPINOZA, Henry J.; y SUÁREZ, Diógenes. Convección de calor transitoria en el flujo de fluidos a través de lechos empacados. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316>.
2. BRAVO MONTENEGRO, D., y LÓPEZ ORTEGA, M. *Modelo matemático de un tubo intercambiador de calor*. Revista colombiana de física. Vol. 38. No. 2. 2006. Pág. 1
3. BRITO VALLINA, María Lucía, *Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros*. Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 2. 2011. Págs. 129 – 13009. Consultados el 27 de julio de 2014. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielophp>.
4. INCROPERA, Frank P., y DE WITT, David. *Fundamentos de la transferencia de calor*. 1999. Cuarta Edición, Editorial Prentice Hall, México 1999.
5. MACHADO, Tito; ROLDÁN, Gabriel; y VELÁSQUEZ, Luis F. *Introducción a las ciencias. El hombre, la tierra y el universo*. Bogotá: Editorial Norma. 1984.
6. MORAN, Michael J., y SHAPIRO, Howard N. *Fundamentos de termodinámica técnica. Segunda edición*. Barcelona: Editorial Reverté S.A. 2004.
7. SERWAY, R. A. *Física*. México: McGraw Hill. 1990. p. 562.
8. YARKE, E. *Ventilación natural de edificios*. Argentina: Nobuko (2005). p.
9. BOHN, Mark S.; KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M. *Principios de la transferencia de calor*. 2012. Disponible en: <http://books.google.com/libros-sobre-transferencia-de-calor>.
10. CHAMARRO, María Esther, y ESPLUGAS, Santiago. *Fundamentos de transmisión de calor*. 2005. <http://books.google.com.co>.
11. MARTÍNEZ, Isidoro. *Termodinámica básica y aplicada*. Consultado el 26 de junio de 2014. <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/>.
12. PLATERO DUEÑAS, Carlos. *Apuntes de regulación automática*. 2008. Pág. 95. Consultado 27 de julio de 2014. <http://www.elai.es/webantigua/spain/Asignaturas>.
13. Definiciones de conducción, convección y radiación. Consultado el 15 de Noviembre del 2013. <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbasees/thermo>.

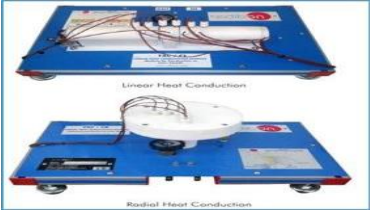


14. Alloy Wire international. Comerciantes y fabricantes de alambre metálico. Sección de diseño de alambre de resistencias, tamaños tolerancias, www.alloywire.com, Reino Unido.
15. SALAZAR VÁLDEZ, José Fernando. Diseño de equipos de transferencia de calor. San Nicolás de los Garza – Nuevo León, México. Tesis en opción al grado en Ciencias de la Ingeniería Mecánica, especialidad en Térmica y Fluidos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. División de estudios de postgrado
16. IDEAM, Tiempo y clima. Promedio climatológicos de 1981 a 2010, www.IDEAM.gov.co
17. Cengel, Transferencia de Calor, Tercera edición. Capítulo 8.
18. Manual de experimentos, WL372. GUNT HAMBURG. Equipamiento para la enseñanza técnica.
19. Manual de experimentos, WL352. GUNT HAMBURG. Equipamiento para la enseñanza técnica.
20. FiberGlass Aislamiento para tubería. Owens Corning. Catalogo Pag. 4
21. Hoja de datos técnicos. Loctite 480 TM, HENKEL.
22. Manual de experimentos, WL362. GUNT HAMBURG. Equipamiento para la enseñanza técnica.
23. Guía de selección de densidad de potencia y calentador permisible. Chromalox Thechnical Documents. Información técnica.
24. Catálogo de Resistencia de Cartucho. KUALITOOL. Pag 3.
25. Criteria of Assenssing CFD convergence. Mike Kuron. M.S.M.E. paper of ENGINEERING.COM.
26. Introducción a la Transferencia de Calor. Camaranza Medina, Yanal. Editorial Universitaria. Enero 2017. Capitulo Transferencia de calor transitoria. Pag.191
27. Transferencia de calor: Laboratorios multimediales para la transmisión de calor. Ibañez S. Juan C. Universidad de Chile. 2004
28. Manual de utilización ANSYS 2014. Solución y modelos de comportamiento.

29. Manual de programa. Sistema de información académica. Universidad nacional. Facultad de Ingenieria. 2016. Página web.
30. Descripción de curso de la carrera de licenciatura en ingeniería mecánica. Facultad de ingeniería. Secretaría general. Universidad tecnología de Panamá.
31. Programa de Asignatura de IEM-311 transferencia de calor. Depertamente de ingeniería electrónica.Facultad de ingeniería. Universidad Central del Este. 2012.
32. Componets Cartridge Heater. CIR/CIRM 1/8" to 1-1/4". CHRAMALOX.

ANEXOS



ANEXO 1. EQUIPOS DE CONDUCCIÓN

Figura 49. Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Edibon-GUNT, Y Equipos de Transferencia de Calor por Conducción Armfield.

CONDUCCION		
PROVEEDOR Y FABRICANTE EDIBON	1. Este equipo dispone de dos montajes experimentales por separado. 2. Posee 8 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas en distintas configuraciones. 3. Estructura en aluminio anodizado y panel de acero pintado electrostáticamente, con 19 sensores de precisión en el primero y 8 en el segundo, sumado a un control computarizado con software SCADA	 <p>1. Unidad de Conducción de Calor Controlada desde Computador (PC) "TXC/CL y TXC/CR".</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE G.U.N.T	1. Tiene un montaje compacto que incorpora las dos configuraciones de análisis radial y lineal. 2. Posee 6 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas. 3. Está diseñado con una sola estructura base en chapa metálica de acero y panel de control de acero pintado electrostáticamente. 4. Posee 9 puntos de medición en conducción lineal y 6 puntos de medición en conducción radial.	 <p>2. Unidad WL 372 de Transferencia de Calor por Conducción13</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	1. Tiene dos montajes experimentales por separado el primero tiene 19 componentes y el segundo 13 elementos. 2. posee 10 ejercicios para comprobación de teorías termodinámicas en distintas configuraciones. 3. Se basa por separado en acero pintado electrostáticamente y módulos de control de chapa metálica pintado electrostáticamente. 4. Posee 8 puntos de medición en conducción lineal y 6 puntos en conducción radial	 <p>3. Unidad HT11 Conducción de Calor lineal 4. unidad HT12 de conducción de calor radial .</p>

Fuente: Autor del proyecto



Figura 50. Equipos de transferencia de Calor por Conducción. Univ. Pontificia Bolivariana y UNAL

CONDUCCION		
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA- FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA.	1. Tiene módulo de conducción transitoria, un módulo de adquisición de señales. 2. Tiene dos módulos de Emisividad. 3. Permite realizar experiencias de conducción transitoria, cálculo de conductividades térmicas de materiales y evaluación de resistencias térmicas.	 <p>Equipos de Conducción Térmica</p>
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA LABORATORIO DE TRASMISION DE CALOR	1. Este equipo de conducción térmica cuenta con un módulo lineal de conducción, y módulo de recepción de señales.	 <p>Equipos de Conducción Térmica</p>

Fuente: Autor del proyecto


ANEXO 2. EQUIPOS DE CONVECCIÓN

Figura 51. Equipos de transferencia de Calor por Convección. DIKOIN-ARMFIELD

CONVECCION		
FABRICANTE Y PROVEEDOR DIKOIN	Posee 9 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas. Soporte en perfil estructural de acero, ducto en chapa metálica con pintura electrostática y calefactores en aluminio. Tiene dos sensores de temperatura superficial. un sistema electrónico de adquisición de datos con ordenador con pantalla táctil.	 <p>1. Unidad IT 03.2 Transmisión de calor por convección natural y forzada</p>
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	Posee 10 ejercicios predefinidos para comprobación de teorías termodinámicas. Base de soporte en chapa plástica, ducto en chapa metálica de acero galvanizado y calefactores en aluminio. Dos sensores de temperatura superficial y un sistema electrónico de adquisición de datos con manejo por software (ArmSoft) en conexión con un PC.	 <p>2. Unidad HT19 Intercambiador de calor por convección libre y forzada</p>

Fuente: Autor del proyecto

Figura 52. Equipos de transferencia por convección. UNAL – U. Pontificia Bolivariana B.manga.

CONVECCION		
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE ING. MECANICA LABORATORIO DE TRASMISION DE CALOR	<p>Este equipo permite reflejar el procedimiento de trasferencia de calor por convección a través de un medio líquido el cual es trasportado por tubería galvanizada cumpliendo la teoría “a mayor presión aumenta la temperatura” permitiendo obtener mediciones en diferentes puntos.</p>	 <p>1. Imágenes tomadas del Laboratorio de transmisión de calor</p>
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA- FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	<p>Este equipo permite calcular experimentalmente el coeficiente promedio de transferencia de calor por convección entre un flujo inducido de aire y tres arreglos geométricos diferentes: bancos de tubos, cilindro horizontal y placa plana. Se convierte electricidad en calor que a su vez es transmitido al aire por convección forzada. Mediante la determinación experimental del flujo de aire y las temperaturas tanto del aire como de las superficies en estudio, se determina el coeficiente promedio de transferencia de calor. El equipo está instrumentado con sensores de temperatura PT100 y un anemómetro de turbina.</p>	

Fuente: Autor del proyecto

ANEXO 3. EQUIPOS DE RADIACIÓN


Figura 53. Equipos de Transferencia por Radiación. GUNT-ARMFIELD.




RADIACION		
FABRICANTE Y PROVEEDOR G.U.N.T	<p>1. Posee 6 ejercicios prácticos y una combinación de ensayos soportados por software.</p> <p>2. Estructura en aluminio y soportes de acero pintado, posee placas para ensayo en materiales específicos para estos, soportado por un sistema de cómputo que emplea el software GUNT y elementos suplementarios como filtros, sensores y luxómetro</p>	
PROVEEDOR Y FABRICANTE ARMFIELD	<p>1. Posee 7 ejercicios prácticos y una combinación de ensayos soportados por software para éstos. estructura en aluminio y soportes de acero pintado tiene placas para ensayo en materiales específicos.</p>	 <p>Unidad HT13 Transferencia de calor radiante</p>

Fuente: Autor del proyecto

ANEXO 4. COSTOS DE EQUIPOS

Figura 54. Costos de equipos de convección, radiación y conducción. GUNT-ARMFIELD.


ELECTROEQUIPOS
 NIT: 830.065.750-6

GUNT 236-15					
Señor(es)			Fecha		
CAMILLO CARDENAS			29/01/2016		
Estudiante			Ciudad		
Universidad Libre			Bogotá		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANT	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	 APARATO PARA CONVECCIÓN NATURAL Y FORZADA CON ADQUISICIÓN	WL 352	1	\$ 76,940,700	\$ 76,940,700
2	 TRANSFERENCIA DE CAL POR RADIACIÓN CON ADQUISICIÓN DE DATOS POR PC	WL 362	1	\$ 74,343,300	\$ 74,343,300
3	 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN /PC	WL 372	1	\$ 80,288,700	\$ 80,288,700
SUBTOTAL					\$ 231,572,700
IVA 16%					\$ 37,051,632
TOTAL					\$ 268,624,332

www.electroequipos.com
 info@electroequipos.com
 CALLE 109 NO. 14A - 26
 BOGOTÁ, COLOMBIA

Fuente: ElectroEquipos

Figura 55. FRIBRA DE VIDRIO

Espesores Recomendados
Aislamiento para Tubería Fibreglas*
Tuberías Calientes Ta= 25 °C (77 °F)¹

TEMP. OPERACION	HASTA 65°C (150°F)						HASTA 121°C (250°F)						HASTA 177°C (350°F)						HASTA 232°C (450°F)									
DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.					
1/2	mm	25.4	mm	25.4	W/in	°C	F	mm	25.4	mm	25.4	W/in	°C	F	mm	25.4	mm	25.4	W/in	°C	F	mm	25.4	mm	25.4	W/in	°C	F
12.7	1	25.4	7.44	7.15	28.7	83.6	1	25.4	20.0	19.23	33.8	92.9	1	25.4	36.2	34.80	40	104.0	1 1/2	38.0	45.9	44.13	38.9	102.0				
3/4	19.1	1	25.4	8.95	8.60	29.4	84.9	1	25.4	24.2	23.27	35.4	95.8	1	25.4	43.7	42.01	42.2	108.0	1 1/2	38.0	53.3	51.24	41.1	106.0			
1	25.4	1	25.4	9.28	8.92	28.8	83.9	1	25.4	25.0	24.03	34.2	93.5	1 1/2	38.0	46.5	44.70	40.6	105.0	2	50.8	49.7	47.78	36.4	97.5			
1 1/2	38.0	1	25.4	12.1	11.63	29.3	84.8	1	25.4	32.5	31.24	35.3	95.6	1 1/2	38.0	46.5	44.70	36.8	98.2	2	50.8	57.6	55.37	36.2	97.2			
2	51.0	1	25.4	14.1	13.56	29.5	85.1	1	25.4	38.2	36.72	35.8	96.5	1 1/2	38.0	53.0	50.95	37.1	98.7	2	50.8	70.2	67.49	38.3	101.0			
3	76.0	1	25.4	19.1	18.36	29.9	85.9	1	25.4	51.6	49.61	36.8	98.2	1 1/2	38.0	70.3	67.58	38.3	101.0	2	50.8	91.6	88.06	40.0	104.0			
4	102.0	1	25.4	22.9	22.02	30.3	86.5	1	25.4	62.1	59.70	37.0	98.6	2	50.8	69.7	67.01	35.7	96.2	2	50.8	109.3	105.08	40.5	105.0			
6	152.0	1	25.4	33.9	32.59	30.6	87.1	1 1/2	38.0	66.6	64.03	34.3	93.8	2	50.8	94.4	90.75	36.6	97.8	2	50.8	148.0	142.28	42.2	108.0			
8	203.0	1	25.4	42.3	40.67	30.7	87.3	1 1/2	38.0	80.4	77.29	34.3	93.8	2	50.8	116.0	111.52	37	98.6	2 1/2	63.5	149.0	143.24	38.9	102.0			
10	254.0	1	25.4	54.6	52.49	31.2	88.2	1 1/2	38.0	94.2	90.56	34.2	93.6	2	50.8	137.0	131.71	37.1	98.7	2 1/2	63.5	181.0	174.01	39.4	103.0			
12	304.0	1 1/2	38.0	40.6	39.03	28.9	84.0	1 1/2	38.0	109.0	104.79	34.4	93.9	2	50.8	158.0	151.90	37.3	99.1	2 1/2	63.5	208.0	199.96	40.0	104.0			
14	356.0	1 1/2	38.0	46.8	44.99	29.2	84.6	2	50.8	99.0	95.18	32.8	91.0	2 1/2	63.5	149.0	143.24	35.6	96.1	2 1/2	63.5	233.0	224.00	40.6	105.0			
16	406.0	1 1/2	38.0	52.8	50.76	29.3	84.7	2	50.8	110.0	105.75	32.9	91.2	2 1/2	63.5	167.0	160.55	35.8	96.4	3	76.0	225.0	216.31	38.3	101.0			
18	457.0	1 1/2	38.0	58.8	56.53	29.1	84.4	2	50.8	124.0	119.21	33.0	91.4	2 1/2	63.5	185.0	177.85	35.9	96.7	3	76.0	249.0	239.38	38.9	102.0			
20	508.0	1 1/2	38.0	64.9	62.39	29.3	84.8	2	50.8	136.0	130.75	33.1	91.5	2 1/2	63.5	203.0	195.16	36.1	96.9	3	76.0	273.0	262.45	38.9	102.0			
24	610.0	1 1/2	38.0	76.9	73.93	29.4	84.9	2	50.8	161.0	154.78	33.2	91.7	2 1/2	63.5	239.0	229.77	36.2	97.2	3	76.0	320.0	307.64	38.9	102.0			
26	660.0	1 1/2	38.0	81.0	77.87	29.3	84.8	2	50.8	170.4	163.82	33.1	91.5	2 1/2	63.5	254.7	244.86	36.2	97.1	3	76.0	340.0	326.87	38.9	102.0			
28	711.0	1 1/2	38.0	86.9	83.54	29.3	84.8	2	50.8	182.5	175.45	33.1	91.6	2 1/2	63.5	271.5	261.01	36.2	97.2	3	76.0	364.0	349.94	38.9	102.0			
30	762.0	2	50.8	73.6	70.76	28.4	83.2	2 1/2	63.5	163.0	156.70	31.8	89.2	3	76.0	250.0	240.34	34.7	94.4	3 1/2	89.0	342.0	328.79	37.4	99.4			

TEMP. OPERACION	HASTA 287°C (550°F)												HASTA 343°C (650°F)												HASTA 399°C (750°F)												HASTA 454°C (850°F)											
DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO	E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.		E.S.		P.C.		T.S.																			
	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.	in.	mm.																		
1/2	12.7	2	50.8	67.0	64.41	44.4	112.0	2	50.8	82.2	79.02	44.4	112.0	2	50.8	110.0	105.75	50	122.0	2 1/2	63.5	126.0	121.13	47.2	117.0																							
3/4	19.1	2	50.8	77.7	74.70	47.2	117.0	2	50.8	93.6	89.98	46.7	116.0	2	50.8	126.0	121.13	52.8	127.0	2 1/2	63.5	140.0	134.59	49.4	121.0																							
1	25.4	2	50.8	72.5	69.70	44.1	106.0	2	50.8	100.7	96.81	46.1	115.0	2 1/2	63.5	122.0	117.29	46.7	116.0	3	76.0	147.0	141.32	47.8	118.0																							
1 1/2	38.0	2	50.8	83.9	80.66	40.6	105.0	2	50.8	116.6	112.10	45.6	114.0	2 1/2	63.5	142.0	136.51	46.7	116.0	3	76.0	171.0	164.39	48.3	119.0																							
2	51.0	2	50.8	102.0	98.06	43.3	110.0	2 1/2	63.5	142.1	136.61	49.4	121.0	2 1/2	63.5	169.0	162.47	50.6	123.0	3	76.0	201.0	193.23	51.7	125.0																							
3	76.0	2	50.8	134.0	128.82	45.6	114.0	2 1/2	63.5	161.5	155.26	47.2	117.0	3	76.0	194.0	186.51	48.3	119.0	3 1/2	89.0	230.0	221.11	50.0	122.0																							
4	102.0	2	50.8	159.4	153.24	46.7	116.0	2 1/2	63.5	191.1	183.72	48.3	119.0	3	76.0	225.0	216.31	49.4	121.0	3 1/2	89.0	268.0	257.65	51.1	124.0																							
6	152.0	2 1/2	63.5	184.0	176.89	43.9	111.0	3	76.0	224.4	215.73	46.1	115.0	3	76.0	302.0	290.33	52.2	126.0	3 1/2	89.0	346.0	332.63	53.3	128.0																							
8	203.0	2 1/2	63.5	217.0	208.62	43.9	111.0	3	76.0	244.4	235.73	46.1	115.0	3 1/2	89.0	319.0	306.68	52.2	126.0	4	102.0	382.0	367.24	51.1	124.0																							
10	254.0	2 1/2	63.5	264.0	253.80	45.0	113.0	3	76.0	319.5	307.16	47.8	118.0	3 1/2	89.0	383.0	368.20	50	122.0	4	102.0	454.0	436.46	52.8	127.0																							
12	304.0	2 1/2	63.5	304.0	292.26	45.6	114.0	3	76.0	366.6	352.44	48.3	119.0	3 1/2	89.0	438.0	421.08	50.6	123.0	4	102.0	518.0	497.99	53.3	128.0																							
14	356.0	3	76.0	393.0	281.68	43.3	110.0	3	76.0	406.8	391.08	49.4	121.0	3 1/2	89.0	483.0	464.34	51.7	125.0	4	102.0	555.0	533.56	53.9	129.0																							
16	406.0	3	76.0	328.0	315.33	43.9	111.0	3 1/2	89.0	401.1	385.60	46.1	115.0	4	102.0	472.0	453.77	48.3	119.0	4 1/2	114.3	578.0	555.67	52.2	126.0																							
18	457.0	3	76.0	362.0	348.02	43.9	111.0	3 1/2	89.0	443.0	425.89	46.7	116.0	4	102.0	520.0	499.91	48.9	120.0	4 1/2	114.3	636.0	611.43	52.8	127.0																							
20	508.0	3 1/2	89.0	349.0	335.52	41.7	107.0	3 1/2	89.0	484.7	465.98	47.2	117.0	4	102.0	568.0	546.06	48.9	120.0	4 1/2	114.3	694.0	667.19	53.3	128.0																							
24	610.0	3 1/2	89.0	409.0	393.20	41.7	107.0	4	102.0	494.4	475.30	44.4	112.0	4	102.0	664.0	638.35	50.6	122.0	4 1/2	114.3	810.0	778.71	53.9	129.0																							
26	660.0	3 1/2	89.0	434.0	417.23	41.7	107.0	4	102.0	538.9	518.08	42.8	109.0	4	102.0	724.0	696.03	50.6	123.0	4 1/2	114.3	858.0	824.85	53.9	129.0																							
28	711.0	3 1/2	89.0	464.0	446.07	42.2	108.0	4	102.0	575.1	552.88	45.0	113.0	4	102.0	773.0	743.14	50.6	123.0	4 1/2	114.3	915.0	879.65	53.9	129.0																							
30	762.0	4	102.0	432.0	415.31	40.0	104.0	4 1/2	114.3	559.0	537.40	43.3	110.0	4 1/2	114.3	751.0	721.99	48.3	119.0	5	127.0	897.0	862.35	51.7	125.0																							

E.R.: ESPESOR RECOMENDADO P.C.: PÉRDIDA DE CALOR
T.S.: TEMPERATURA DE SUPERFICIE APROXIMADA Ta.: TEMPERATURA AMBIENTE

* Estos valores son una referencia para cálculos específicos con los valores indicados. Para mayor información, favor de consultar a su representante de ventas, que con gusto responderá a todos sus preguntas.

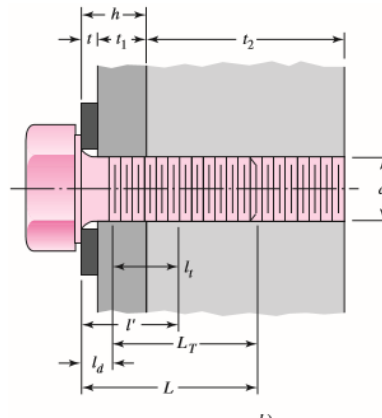
ANEXO 6. Elemento de Sujeción

EQUIPO DE CONDUCCIÓN LINEAL

Tornillos de sujeción

Se utiliza tornillo de acero M10 rosca métrica para la sujeción del polietileno, ya que las cargas son muy bajas debido a que el elemento no está expuesto a ninguna carga puntual y las dilataciones por temperatura son despreciables. Por otra parte el elemento de polietileno está sujeto a la carga por el apriete del tornillo y para determinar la longitud optima de agarre se procede a analizar los espesores de la sujeción.

Figura 56. Dimensiones de Tornillos



Fuente: Mecánica de Shigley. Capítulo 8.

Las dimensiones del tornillo, las de la rosca interna y agarre efectivo se pueden obtener con las ecuaciones siguientes

$$l' = h + \frac{d}{2} \quad (67)$$

$$L > h + 1.5d \quad (68)$$

$$L_d = L - L_t \quad (69)$$

$$L_T = 2d + 6mm \quad (70)$$

$$L_t = l' - l_d \quad (71)$$

Para aumentar la resistencia de la sujeción se utiliza en la parte exterior polietileno como material, ya que este tiene una mayor rigidez y resistencia mecánica. La longitud h es de 56 mm en la tapa del equipo, 2 mm de arandela (t) y diámetro del tornillo de 10 mm, remplazando en las ecuaciones 20 a 24 de como resultados: Longitud efectiva l' de 64mm, longitud del sujetador L de 73 mm, longitud de la parte útil rosca l_d de 21 mm, longitud de la parte útil sin rosca L_d igual a 43 mm y longitud de la rosca L_t 18 mm.

Por otra parte los racores de acople desde el latón a las mangueras de salida y entrada del equipo son de $\frac{1}{2}$ pulg NPT. Garantizando la eliminación de cualquier fuga de agua del sistema.

Ajuste de Probeta

Las probetas están sujetas por medio de presión de una abrazadera de palanca, la unidad de calentamiento está sujeta a la base del equipo y es de polipropileno, estas soportan el sistema en dos puntos de apoyo, un tercer punto de apoyo existe en la probeta, ubicada en medio de los dos módulos. Sabiendo que la probeta consta del metal experimental y de los aislamientos se utiliza el software Solidworks para obtener el volumen y el peso de las probetas, esta cuenta con un peso aproximado de 205.28 gr, lo que es equivalente a 2 N multiplicada por

la gravedad, al tener este peso se puede deducir que con el ajuste de la distancia entre el gancho y la palanca, ya se puede obtener la fuerza para sostener la probeta, debido a que la fuerza que ejerce la abrazadera generará una deformación, por lo tanto por medio iterativo se obtiene que con una deformación de 0.05 mm obteniendo

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (73)$$

Donde

δ = deformación (mm)

P = Carga (N)

A = Área (m^2)

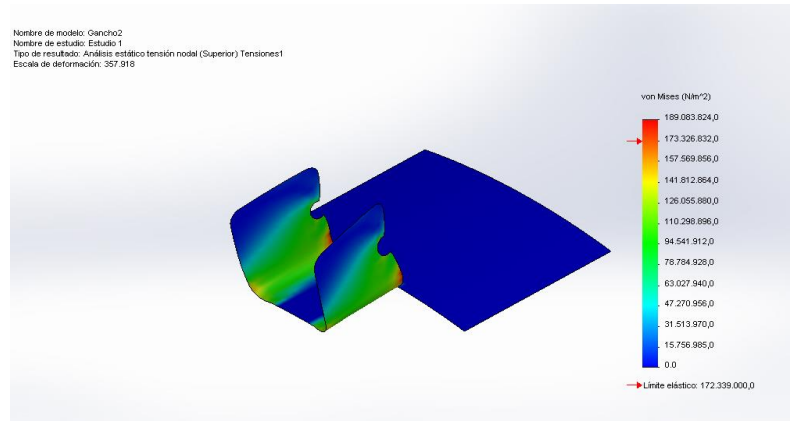
E = Módulo de elasticidad

De acuerdo a la ecuación 37, despejando P y reemplazando por $3.1416 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ de área con un diámetro de 2 mm, E de 187.5 GPa del acero inoxidable, y una longitud de 0.057 m de longitud de la palanca, por lo tanto se obtiene una fuerza de 516.45 N ejercidos por la deformación de 0.05 mm de la varilla ajustada al gancho en el momento que se baja la palanca.

Una vez establecida la fuerza que se ejerce, se debe garantizar que los elementos soporten la probeta, el sistema de la abrazadera de gancho tiene como punto crítico la unión de sujeción entre el gancho y el cilindro exterior y el gancho que al estar sometido por la fuerza de la barra que ejerce la varilla al gancho. Se decide usar pegamento epóxico Loctite 480 especial para la unión del metal con el aislamiento, que cuenta con una fuerza máxima de corte con el tiempo de curación de 4-20 N/mm^2 (Ref.21), las dos áreas tienen un valor de 394.78 mm^2 es el área de apoyo de la palanca y 364.58 mm^2 para el gancho, multiplicando por una fuerza de corte de 4 N/mm^2 , se puede obtener la fuerza máxima que podría soportar el epóxico con esa área de contacto, equivalente a 1579 N y 1458.32 N para cada área. Se puede observar que la fuerza ejercida por la deformación (1032.9N) es inferior a la permisible, teniendo un factor de seguridad de 1.53 lo que muestra que la unión soportará la carga siempre que en el ajuste no se supere más del 0.05 mm de su dimensión en el plano.

Por otro lado esta misma fuerza ejerce una deflexión en el gancho de acero inoxidable el cual tiene como esfuerzo permisible de 520 MPa, la distancia en Y que existe desde el punto de apoyo hasta el doblez del gancho es de 4 mm lo que genera un momento flector de fuerza cortante, además de una deformación y desplazamiento. Haciendo un análisis de esfuerzo del gancho se obtiene el resultado mostrado en la figura 51.

Figura 57. Análisis de esfuerzo del Gancho de abrazadera de palanca.

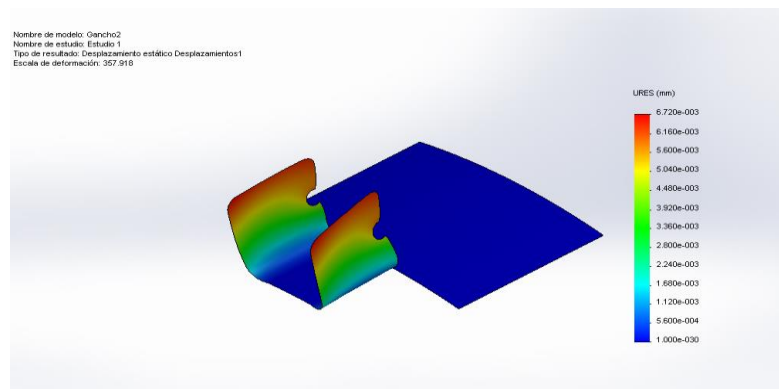


Fuente: Autor del proyecto

El gancho es una lámina de 2 mm doblada como se ve en la figura, se le aplica las fuerzas por la palanca y se obtiene un esfuerzo máximo de 189 MPa de esfuerzo equivalente de Von Mises, este esfuerzo es menor que el de fluencia, lo que conlleva a ser aceptado según este criterio teniendo un factor de seguridad de 2.75.

Por otra parte la deformación del gancho genera una disminución en la fuerza de sujeción de la abrazadera en la figura 52 se puede observar que tiene un máximo de deformación de 6.72×10^{-3} mm, lo que hace disminuir la fuerza pero no sigue cumpliendo con la función de mantener la probeta en su ubicación deseada.

Figura 58. Análisis de deformación del Gancho de abrazadera de palanca.



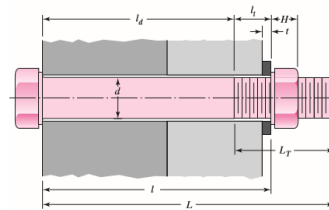
Fuente: Autor del proyecto

EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL

La unión de la tapa superior con la inferior compactando la fibra de vidrio, está dada por un tornillo de M10, estas no presentan ningún tipo de fuerza externa o momento, y por las condiciones de la tubería no presenta vibraciones, de tal modo que la sujeción es simple y se puede determinar las dimensiones que se requieren del tornillo, en la figura 69 se ve la forma de sujeción del equipo,

teniendo como espesor de arandela de 2 mm y altura de tuerca (H) de 8 mm, además la longitud total de la sujeción (l) es de 132.4mm, reemplazando y resolviendo las ecuaciones 74 a 77 se obtiene.

Figura 59. Esquema de sujeción para equipo radial.



Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley 8va edición capítulo 8

$$L_t = 2d + 12 \text{ mm} = 32 \text{ mm} \quad (74)$$

$$L > l + h = 140.4 \quad (75)$$

$$l_d = L - L_t = 108.4 \text{ mm} \quad (76)$$

$$l_t = l - l_d = 24 \text{ mm} \quad (77)$$

Esta sujeción esta desde la parte superior del sistema hasta la base, evitando de esta forma más sujeciones en el equipo. Sin embargo se debe hacer el análisis de la unión soldada, esta unión se debe hacer por medio de una soldadura fuerte, por medio de un arco eléctrico con adición de material de dos partes de estaño y una de plomo, como fundible se hace uso de una solución de zinc en ácido clorhídrico, la unión tendrá un resistencia a la tracción de 68000 Lb/pulg².

Por otro lado los tornillos de unión entre la tubería de enfriamiento y los de salida son de 1/4 pulg NPT. Las presiones de entrada y salida son bajas por lo que es de esperar que no presenten problema, debido a que no presentan vibración.

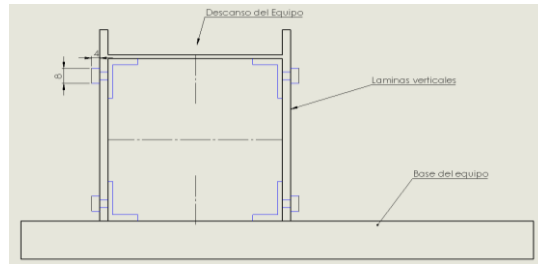
EQUIPO DE CONVECCIÓN

El ventilador axial cuenta con 4 puntos de apoyo de diámetro de 4.3 mm de diámetro esta dimensión viene de fábrica, se coloca lámina con doblez, para unir el ventilador con el ducto de aluminio.

Por otro lado existe una sujeción por parte de la base y el ducto principal, de tal modo que la base no se caliente y exista una perdida grande de calor se coloca una tira de aislamiento entre el ducto en la zona de la resistencia no se coloca aislamiento y no se coloca soporte.

El sistema descansa en una lámina de aluminio que está unidas a dos láminas verticales por medio de ángulos y tornillos, del mismo modo las láminas están unidas a la base como se muestra en la figura 54.

Figura 60. Esquema de sujeción para soporte del sistema.



Fuente: Autor del Proyecto

Los tornillos de la parte superior de la figura son los que soportan directamente el sistema expuestos a esfuerzos cortantes y normales, se puede obtener el valor del esfuerzo cortante por medio de un análisis de cuerpo libre, la fuerza que soporta cada tornillo es de $W/4$, teniendo como W el peso del sistema, la resistencia a la fluencia teniendo como base un tornillo martensítico de bajo carbono T y R de 520MPa.

Para determinar el peso del sistema se debe tener en cuenta cada uno de sus elementos, un ducto de 120 mm y 120 mm de aluminio (ver diagrama QFD) con peso de 1.335 Kg, los sensores, la resistencia 0.7 Kg, el ventilador 0.525, sensor de velocidad del aire 0.600, aislamiento se puede estimar que el peso de trabajo de los tornillos es de 5 kg distribuido en 6 puntos, obteniendo una fuerza por la acción de la gravedad de 8.33N.

La fuerza del peso está distribuida uniformemente y por simetría teniendo 6 apoyos se obtiene en cada punto la tercera parte de la fuerza. Cada uno de los apoyos están sometidos a un esfuerzo cortante de torsión ejercido por el peso desde el centro de gravedad del sistema y un esfuerzo de corte puro por la reacción de la fuerza de apoyo, por otro lado un esfuerzo normal por parte del peso desde su centro de gravedad. Las ecuaciones 78 a 80 se utilizan para determinar el esfuerzo con respecto al criterio de energía de torsión de von Mises, una vez hallado el momento de torsión en el tornillo y el momento de flexión ejercidos por el peso, teniendo como valores de $5e-3$ Nm y 6 Nm respectivamente.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{Mr}{\frac{\pi r^4}{4}} = \frac{4M}{\pi r^3} \quad (78)$$

$$\tau = \frac{Mc}{J} + \frac{W}{A} = \frac{Mr}{\frac{\pi r^4}{2}} + \frac{W}{\pi r^2} \quad (79)$$

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma + 3\tau} \quad (80)$$

Donde S_y es el esfuerzo de fluencia del material del tornillo, el diámetro del tornillo se halla de forma iterativa de modo que de un factor de seguridad de por

encima de 1.5. Una vez remplazado con los respectivos valores e iterando se obtiene que con un diámetro de 6 mm del tornillo se alcanza a obtener un esfuerzo de 350MPa y un factor de seguridad de 1.5.

La longitud del tornillo se halla utilizando las ecuaciones 74 a 77, obteniendo:

- $H=4\text{mm}$
- $l= 6$
- $L_t= 12 \text{ mm}$
- $L = 16 \text{ mm}$
- $L_d = 4 \text{ mm}$
- $l_t= 2 \text{ mm}$

EQUIPO DE RADIACIÓN TÉRMICA

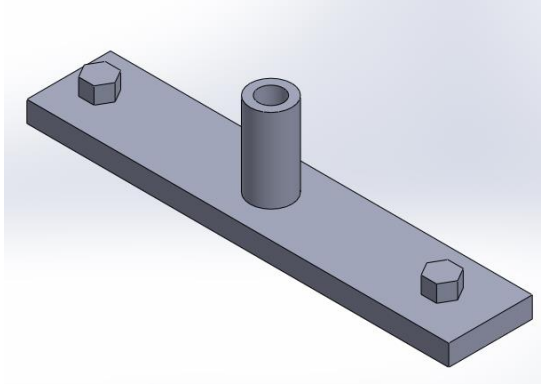
Teniendo en cuenta las dimensiones del aislante, se utiliza una lámina de metal para aumentar la consistencia del radiador térmico. Esta lámina es la parte exterior del radiador con las salidas de conexiones de la resistencia y el sensor de temperatura.

Dentro de esta caja de metal se coloca una lámina en ángulo donde finaliza el aislante para sujetar la resistencia y la lámina emisora de radiación, el material sujeto tiene una longitud de 58.2 mm, la arandela de 2 mm y la tuerca con altura de 4 mm, de acuerdo a las ecuaciones 53 a 56 se puede obtener las dimensiones del tornillo teniendo en cuenta que el diámetro del tornillo es de 6 mm, remplazando y solucionando las ecuaciones se obtiene L_t de 24 mm, L de 64,2 mm, l de 60,2 mm, l_d de 40,2 mm y l_t de 20 mm (ver Figura 69).

Los tornillos de las láminas son de 6 mm específicos para lámina con una dimensión de 6 mm de largo. Estos tornillos se aprietan a medida que se van uniendo las láminas. El radiador tiene una lámina de 2 mm que lo une con los perfiles de aluminio horizontales, utilizados para poder movilizar los componentes en el equipo como se puede observar en el boceto (figura 13), se suelda una tuerca en la superficie interior de la lámina del radiador para generar una mayor sujeción del radiador y la lámina de unión con el perfil de aluminio

Por otro lado se debe tener en cuenta las sujeciones de la termopila, la termopila como se ve en la tabla 25, tiene una varilla de 10 mm de diámetro y 180 mm hasta el centro de la superficie de medición, con un peso aproximado de 0,300 Kg, se coloca genera una superficie roscada en la varilla, para sujetarla una pieza en T con una rosca interna de modo que quede estático el sensor como se muestra en la figura 71. La dimensión del cilindro con rosca interna es de 60 mm.

Figura 61. Elemento de sujeción para Termopila.



Fuente: Autor del proyecto

Para la cara posterior del cilindro se mecaniza una rosca de 8 mm, haciendo un análisis de esfuerzos con momentos de flexión ocasionados por una fuerza externa por manipulación, reemplazando las variable y resolviendo las ecuaciones 61 a 63 despejando la fuerza de las ecuaciones y dejando como solo el esfuerzo equivalente de Von Misses, la fuerza máxima de palanca desde la longitud más lejana desde el tornillo mecanizado hasta los 180 mm de la varilla teniendo un esfuerzo de fluencia de 250 MPa equivalente a un acero estructural ASTM A36 se halla en la ecuación 62.

$$S_y = \frac{8M}{\pi r^3} = \frac{8 * F * 180e - 3}{\pi * (43e - 3)^3} \quad (81)$$

Despejando de la ecuación 63 se obtiene

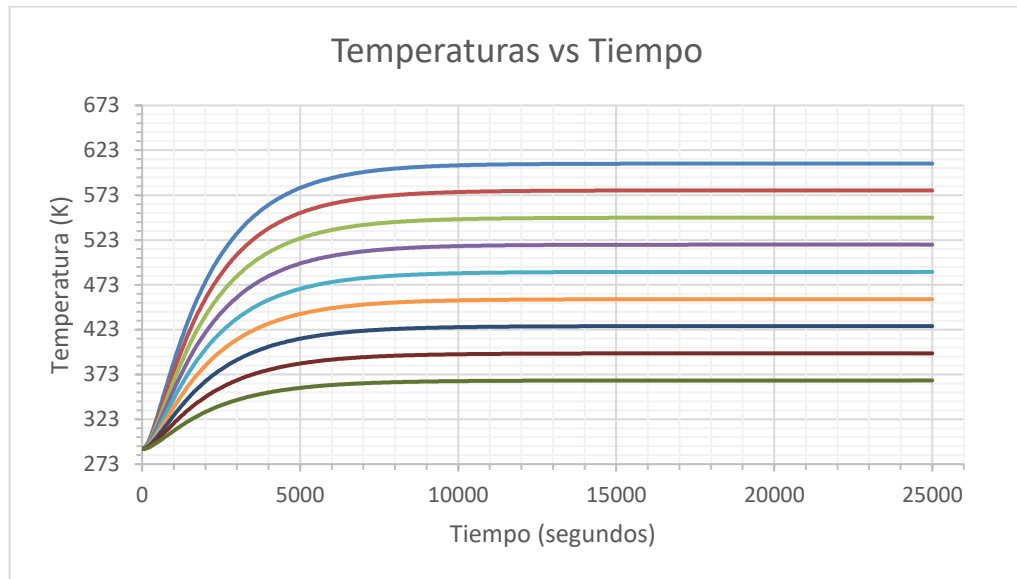
$$F = \frac{250 e 6 * \pi * (4e - 3)^3}{8 * 180e - 3} = 35 N \quad (82)$$

Teniendo en cuenta el peso está fuerza es suficiente de acuerdo a las funciones que tiene dentro del sistema y a una manipulación adecuada.

Anexo 7. Control del Equipo

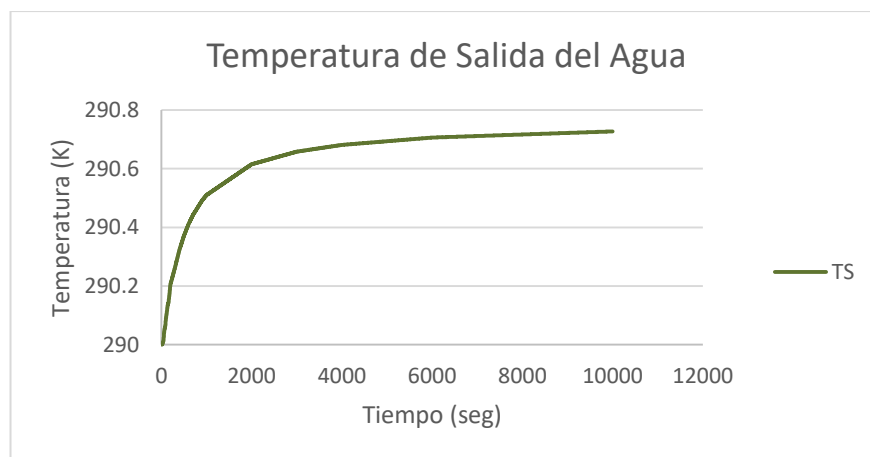
Conducción Lineal.

Figura 62. Temperatura de sensores con estrada tipo STEP de 100% de la potencia nominal.



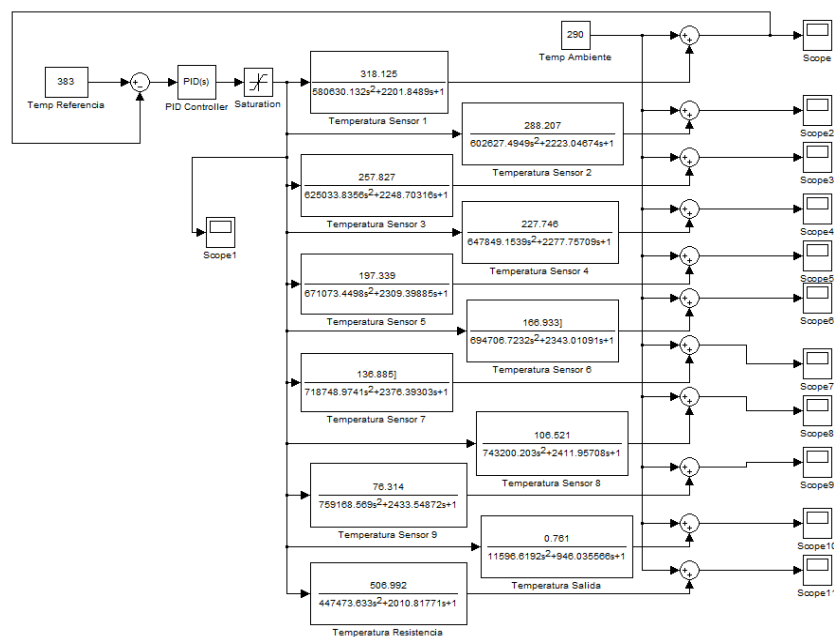
Fuente: Autor del Proyecto

Figura 63. Temperatura de salida del agua con estrada tipo STEP de 100% de la potencia nominal.



Fuente: Autor del Proyecto

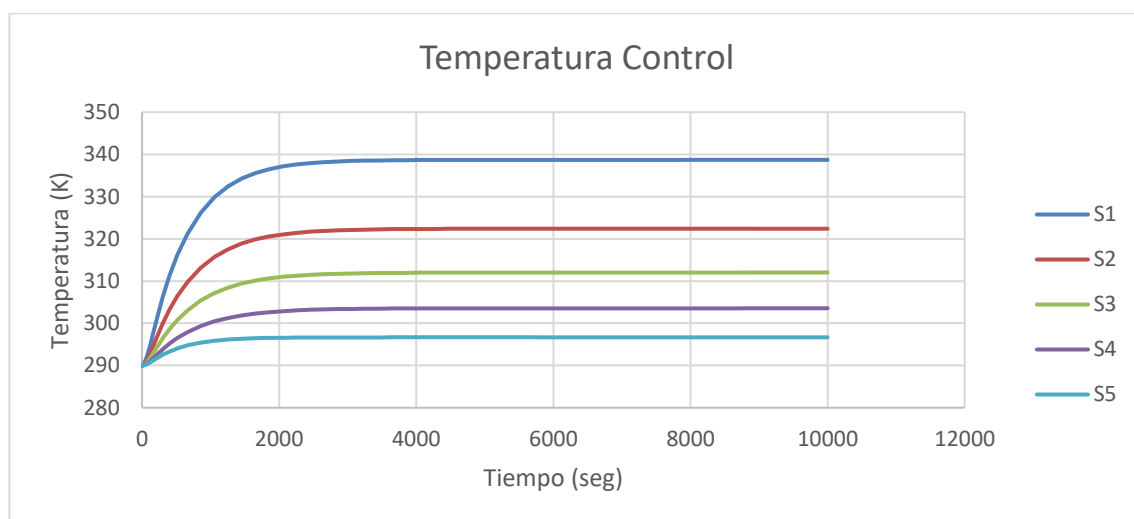
Figura 64. Sistema de Diagrama de Bloques para Simulación de Comportamiento del Equipo de Conducción Lineal.



Fuente: Autor del proyecto.

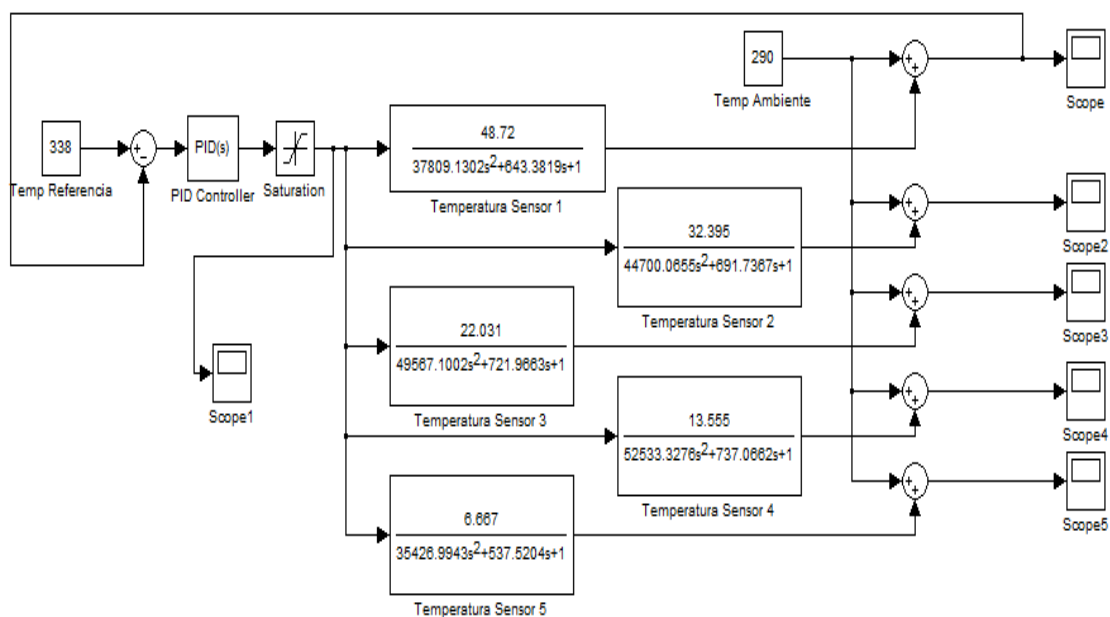
CONDUCCIÓN RADIAL

Figura 65. Temperatura sensores entrada tipo Step 100%



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 66. Diagrama de Bloques del Equipo de Conducción Radial.



Fuente: Autor del proyecto

EQUIPO DE RADIACIÓN TÉRMICA

Figura 67. Temperatura de Resistencia Máxima

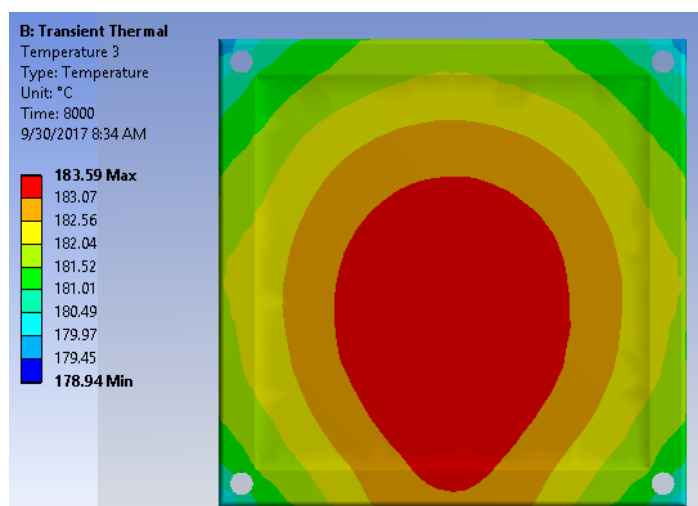
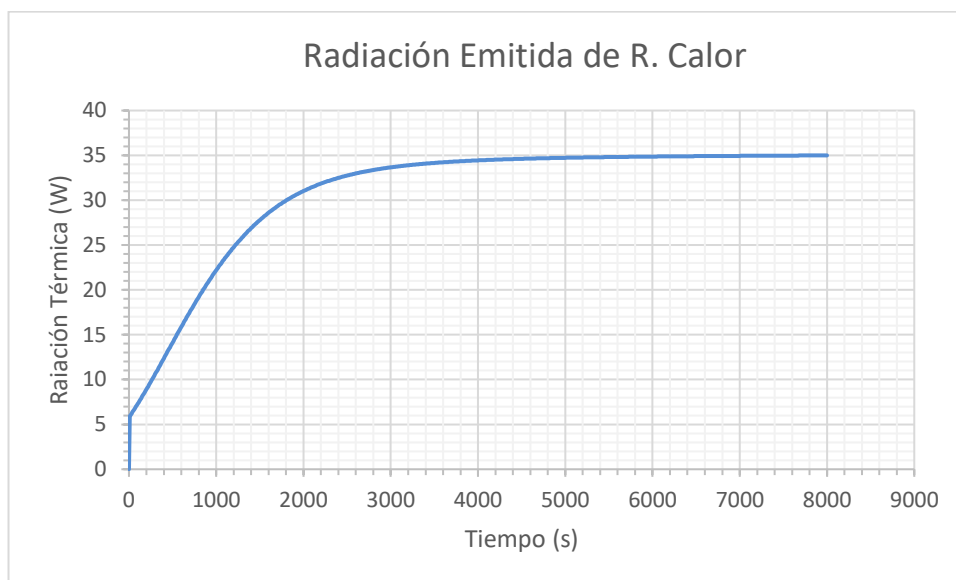


Figura 68. Radiación emitida de calor



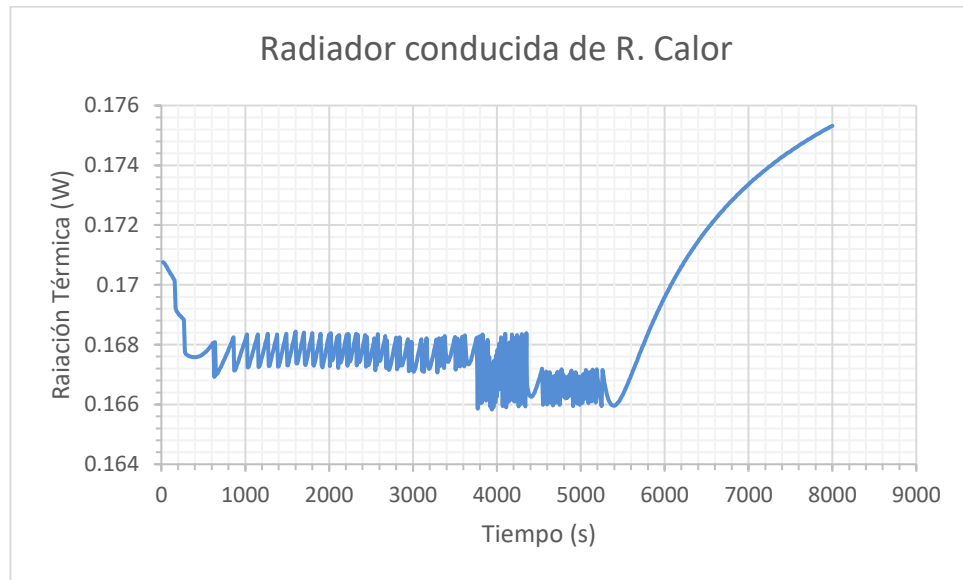
Fuente: Autor del proyecto

Figura 69. Radiación emitida de calor



Fuente: Autor del proyecto

Figura 70. Radiación emitida de calor



Fuente: Autor del proyecto

ANEXO 8. TABLA DE CARACTERISTICAS DE MATERIALES Y FLUIDOS

Propiedades de Metales sólidos.

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ	c_p	k	$\alpha \times 10^6$						
		kg/m ³	J/kg · K	W/m · K	m ² /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio:											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042	185	
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	112	120	127			
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	128	190	55.5	16.8	10.6	9.60
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	203	99.3	94.7			
Cobre:						198	222	242			
Puro	1 358	8 933	385	401	117	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14	192	384	484	542	581	616
Bronce al fósforo para engranes (89% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	236	379	450	503	550	628
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	237	362				
Oro	1 336	19 300	129	317	127	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	190	290	337	348	357	375
Hierro:						327	323	311	298	284	270
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	109	124	131	135	140	145
Armco (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	172	153	144	138	132	126
Aceros al carbono:						90	122	133	138	144	153
Simple al carbono (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
AISI 1010		7 832	434	63.9	18.8	216	384	490	574	680	975
Al carbono-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
								56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
								58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
								49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

Fuente: *Transferencia de calor Cengel, Apendice 1*

Propiedades de materiales aislantes

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca,	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
escoria o vidrio)	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliuretano expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca,	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
escoria o vidrio)	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
Aislamiento reflector					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

Fuente: Transferencia de calor Cengel, Apéndice 1

Propiedades de Agua saturada

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 186	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. Las temperaturas de 0.01 °C, 100 °C y 374.14 °C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), págs. 291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Fuente: Transferencia de calor Cengel, Apendice 1

Propiedades del Aire a presión atmosférica

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , ν y α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermanns, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

ANEXO 9. MANUALES DE EQUIPOS

Equipo De Laboratorio De Conducción Lineal.

Introducción

La conducción es un tipo de transmisión de calor que se presenta cuando dos cuerpos sólidos o líquidos o gaseosos en reposo, la estimulación de las partículas internas del cuerpo genera un aumento de la energía interna del mismo. El fenómeno de conducción lineal se presenta cuando los cuerpos en contacto entran en estabilización térmica o estado estacionario, en este punto la temperatura de un punto del cuerpo no cambia con el tiempo, cambiando únicamente con la posición o la distancia de referencia.

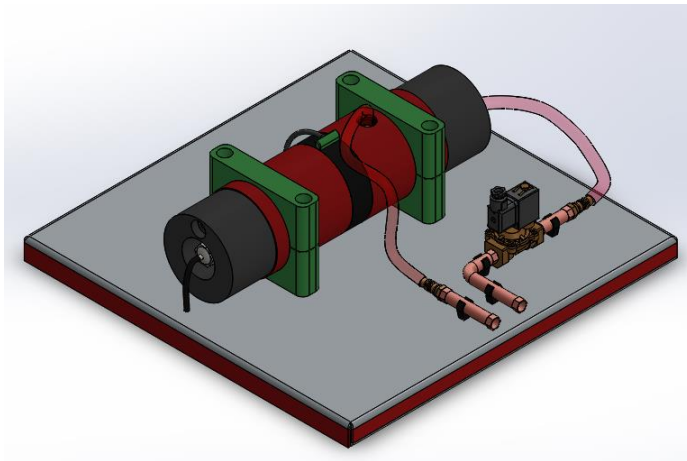
Este equipo está diseñado para realizar ensayos como:

- Comprobación de Conducción lineal en régimen estacionario
- Determinar la conductividad térmica,
- Ensayos de cambio con material y dimensiones de la probeta

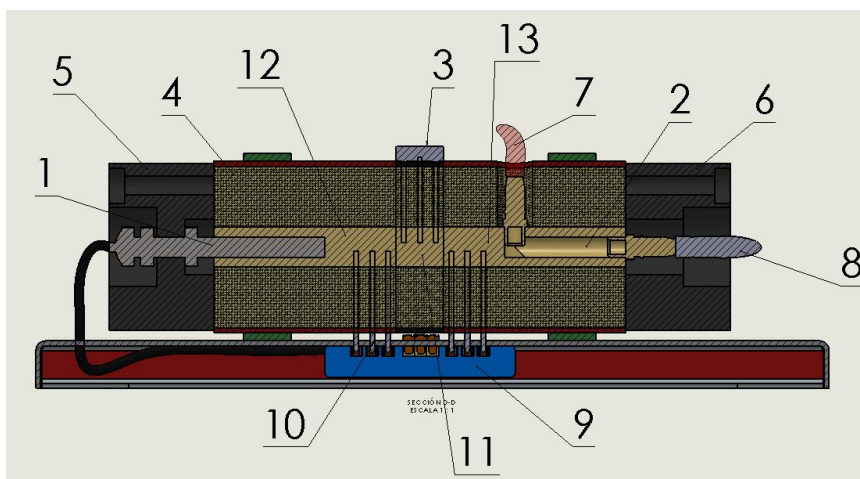
El equipo además está ergonómicamente diseñado para que sea fácil de movilizar y adecuar a un espacio pequeño.

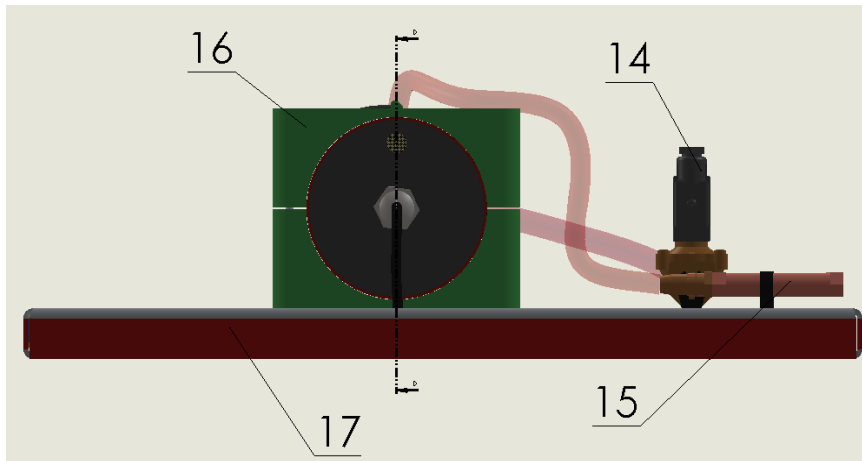
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Estructura del equipo



Este equipo de conducción lineal consta de 13 partes:





1. Resistencia térmica 150 W. temperatura máxima de trabajo 120°C
2. Tubería de contacto en L, con agua como refrigerante.
3. Conexión de sensores tipo PT100 de 3 mm espaciados a 10 mm.
4. Aislante de fibra de vidrio de 77 mm de espesor de aislamiento con tapa de PVC de cubrimiento.
5. Tapa de polipropileno para resistencia térmica resistente a temperaturas altas.
6. Tapa de polipropileno para entrada de agua
7. Salida de agua caliente manguera de 1/2"
8. Entrada de agua fría con manguera de 1/2"
9. Módulo de control y amplificación de datos tarjeta NI y circuito de potencia
10. Sensores de resistencia y de enfriamiento tipo PT100 de 3 mm espaciados a 10 mm.
11. Probeta de latón, acero de 25 mm y 25 mm respectivamente y latón de 15 mm
12. Tubo de latón de 25 mm de diámetro en la resistencia
13. Tubo de latón de 25 mm de diámetro en el enfriamiento
14. Electroválvula de 24 V Festo 2/2, caudal máximo 3 l/m.
15. Salida de agua caliente
16. Soporte de tubería polipropileno
17. Base soporte del equipo Lamina doblada de acero HR

Se debe abrir el cierre que se encuentra a presión, se corre la parte de enfriamiento hacia atrás y se coloca la pieza de montaje, así logrando que por

medio de esta pieza el calor del calefactor se transmita linealmente hacia el área de enfriamiento.

El módulo de calentamiento tiene como componentes: aislamiento exterior, tapa de polipropileno, varilla de latón, y la resistencia, se tienen 9 puntos de medición los cuales están distribuidos 3 en el módulo de calentamiento, 3 en la probeta y 3 en el módulo de enfriamiento, todos ubicados a 90 °C con respecto a la horizontal.

Se tienen 3 probetas de montaje:

La **probeta 1**, tiene un diámetro de 25.4 pulgadas y su material es latón, cuenta con tres puntos de medición de la temperatura indicada en la varilla de latón, esta tiene el mismo diámetro del módulo de calentamiento y el módulo de refrigeración, los cables de la medición se conectan a la base mediante un conector, en caso de utilizar otras probetas no es necesario retirar la probeta 1, ni tampoco desenchufar el conector.

La **probeta 2**, al igual que la anterior tiene el mismo diámetro que el módulo de calentamiento y el de enfriamiento, pero no es del mismo material, esta es de acero inoxidable, este no tiene puntos de medición de temperatura.

La **probeta 3**, Tiene un diámetro menor el cual es de 12.7 pulgadas su material es latón y al igual que la anterior no cuenta con puntos de medición.

El módulo de calentamiento al igual que el de refrigeración, tienen un aislamiento exterior y una varilla de latón. Esta cuenta con unos orificios por donde fluye el agua refrigerante.

Puntos de medición.

Estos puntos están identificados numéricamente de izquierda a derecha, la distancia entre los puntos es de 10 mm.

Los diámetros tanto de módulo de calentamiento, módulo de enfriamiento, probeta 1 y probeta 2, es de 25.4 pulgadas. La probeta 3 tiene uno de 12.7 pulgadas.

Inicio del laboratorio.

Antes de comenzar con las prácticas se deben leer muy bien las indicaciones para llevar a cabo los ensayos y dar a conocer a los participantes del laboratorio las instrucciones de funcionamiento y manejo del equipo.

Luego de tener el equipo sobre un soporte, establecer la alimentación eléctrica. Se conecta el equipo el cual debe tener una alimentación de corriente de 220 V/60 Hz.

Se prepara la manguera para el agua refrigerante esta tiene un diámetro de 10 mm, nunca se debe poner en funcionamiento el equipo sin el agua refrigerante.

Instalación De La Tarjeta De Datos National Instruments

La tarjeta se debe montar en el pc el cual es adicional a los suministros del equipo, se sigue le siguiente procedimiento.

Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.

- Abrir la torre del PC
- Buscar una toma libre en la placa base. (Comprobar que la dirección 0320 HEX del PC Aún no esté ocupada).
- Introducir la tarjeta y atornillarla
- Cerrar la torre del PC
- Conectar la tarjeta multifuncional con el cable de cinta plana

Instalación Del Software LABVIEW

El software labview se instala en el PC, de acuerdo a la guía del usuario y siguiendo los estos pasos:

- Encender el PC e iniciar Windows
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera
- Abrir el Administrador de archivos de Windows
- Seleccionar la unidad de disco en la se encuentre el disquete de instalación
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo

La instalación se efectúa automáticamente. A continuación se crea un icono propio en Windows que permite iniciar el software de la aplicación.

Procedimiento de utilización

1. Seleccionar y colocar la probeta.
2. Conectar el computador al módulo de amplificación y de datos
3. Seleccionar las condiciones deseadas de trabajo. De acuerdo a los límites de trabajo del equipo
4. Encender el equipo, verificar la conexión de los terminales.
5. Calentar el equipo 45 minutos antes de la prueba.
6. Registrar los datos de temperaturas.
7. Remplazar en ecuación 1 y 2 e ingresarlos a la tabla.

Tabla 1. Ingreso de información para experimento de conducción lineal

PROBETA	Tramo de medición	Material Calentador	Material Probeta	Material enfriamiento
		Latón	M _p	Láton
	Diámetro (mm)	25.4	D _p	25.4
	Potencia	P	Temp. Ambiente	T ₀
Sensor	Distancia (s _n)(mm)	Temperatura T _n (°C)	Diferencia	Conductividad térmica (K) $\frac{W}{mK}$
1	-			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			
7	60			
8	70			
9	80			

$$P = \frac{KA}{S} (T_{\max} - T_{\min}) \quad (1)$$

$$K = \frac{PS_n}{A\Delta T} \quad (2)$$

Equipo De Laboratorio De Conducción radial.

Introducción

La transferencia de calor por conducción radial se presenta cuando un sólido con una geometría circunferencial está en contacto con otro, el flujo de calor se transmite de forma proporcional a medida que va aumentando su radio. La diferencia de temperaturas desde un radio del cuerpo a otro punto con un radio mayor o menor con una temperatura diferente genera que presente un flujo de calor a través del sólido, el flujo de calor se presenta hasta que el flujo de calor entra en un estado estacionario y las temperaturas en el sólido no dependen de la temperatura si no del radio.

El equipo de laboratorio que se diseñó cumple con las características necesarias para determinar las leyes y magnitudes básicas de la conducción de calor radial y realizar ensayos prácticos para determinar conductividad térmica.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Estructura del equipo.

El equipo de laboratorio para conducción radial, consiste en una unidad cerrada que consta de las siguientes partes:

- Una caja aislante con tapa
- Disco con unidad de calentamiento y unidad refrigerante, la unidad de calentamiento está sujeta a un disco de latón por el centro y por la parte de abajo.
- Un tubo de cobre por el que fluye el agua refrigerante el cual se encuentra ubicado alrededor del disco.

El flujo de calor va desde el centro hasta la el radio exterior, la unidad de enfriamiento garantiza un flujo de calor constantes hasta llegar a régimen estacionario.

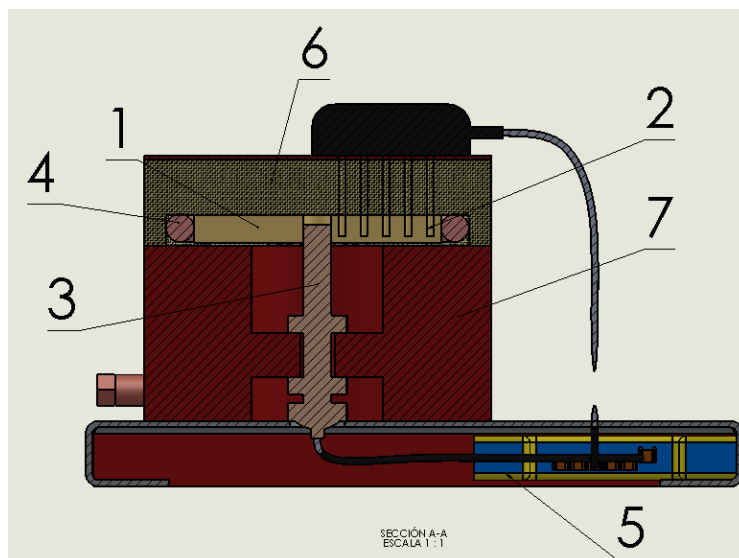
Puntos de medición

El equipo presenta seis puntos de medición de la temperatura, Espaciados aumentando 10 mm el radio del equipo, las temperaturas medidas son transmitidas por la tarjeta de adquisición de datos hasta el computador.

Medidas

El diámetro del disco es de 110 mm con espesor de 5 mm.

La unidad de calentamiento se encuentra por debajo de la mitad, en el centro, y tiene un diámetro de 12 mm, la potencia de entrada de la resistencia es variable logrando trabajar a diferentes temperaturas en el equipo



1. Probeta de latón de 112.7 mm y espesor de 4 mm
2. Sensores de temperatura PT100 de 3 mm.
3. Resistencia eléctrica 150 W

4. Tubo de enfriamiento
5. Módulo de control y amplificación de medidas, tarjeta NI y circuito de potencia
6. Aislamiento de fibra de vidrio con tapa de refuerzo de polietileno
7. Soporte de polietileno para probeta y resistencia

Inicio del laboratorio.

Antes de iniciar con los ensayos se deben leer muy bien las instrucciones para llevar a cabo las prácticas, y cada participante del laboratorio debe conocer el funcionamiento y manejo del equipo.

Para poner en marcha el funcionamiento del equipo es necesario conectar el equipo mediante un cable de datos, un cable eléctrico, una entrada y una salida de agua refrigerante.

Luego de tener el equipo sobre un soporte, establecer la alimentación eléctrica.

Se conecta el equipo el cual debe tener una alimentación de corriente de 220 V/60 Hz.

Se prepara la manguera para el agua refrigerante esta tiene un diámetro de 10 mm, nunca se debe poner en funcionamiento el equipo sin el agua refrigerante.

Instalación De La Tarjeta De Datos National Instruments

La tarjeta se debe montar en el pc el cual es adicional a los suministros del equipo, se sigue el siguiente procedimiento.

Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.

- Abrir la torre del PC

- Buscar una toma libre en la placa base. (Comprobar que la dirección 0320 HEX del PC Aún no esté ocupada).

- Introducir la tarjeta y atornillarla

- Cerrar la torre del PC

- Conectar la tarjeta multifuncional con el cable de cinta plana

Instalación Del Software LABVIEW

El software labview se instala en el PC, de acuerdo a la guía del usuario y siguiendo los estos pasos:

- Encender el PC e iniciar Windows
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera
- Abrir el Administrador de archivos de Windows
- Seleccionar la unidad de disco en la se encuentre el disquete de instalación
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo

La instalación se efectúa automáticamente. A continuación se crea un icono propio en Windows que permite iniciar el software de la aplicación.

Utilización del equipo

1. Encender el equipo
2. Dejar Calentando el equipo una hora antes del ensayo
3. Dejar estabilizar el equipo 300 segundos
4. El Caudal de entrada se controla automáticamente
5. Graduar unidad de calentamiento
6. Obtener datos de temperatura de la unidad de visualización
7. Generar Diagrama de temperaturas vs Distancia.

Tabla 1. Ingreso de información para experimento de conducción Radial

PROBETA	Tramo de medición	Latón		
	Radio Sensor 1 (mm)	18	Radio Sensor 5 (mm)	68
	Potencia	P	Temp. Ambiente	T ₀
Sensor	Distancia (s _n)(mm)	Temperatura T _n (°C)	Diferencia	Conductividad térmica (K) $\frac{W}{mK}$
1	-			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			

$$P = \frac{2\pi LK}{\ln \left| \frac{r_{ext}}{r_{int}} \right|} (T_{max} - T_{min}) \quad (1)$$

$$K = \frac{P \ln \left| \frac{r_{ext}}{r_{int}} \right|}{2\pi \Delta T S_n} \quad (2)$$

Equipo De Laboratorio De Convección.

Introducción

La transmisión de calor por convección se realiza a través del contacto de un fluido con un sólido, la cantidad de transferencia de calor aumenta o disminuye directamente con la cantidad y velocidad del fluido.

Cuando se hallan cálculos técnicos sobre transferencia de calor, se debe determinar la cantidad de energía que se transmitirá por cada unidad de tiempo entre dos medios a temperaturas distintas.

El equipo de laboratorio que se diseñó cumple con las características necesarias para determinar experimentalmente las leyes y magnitudes básicas de la transferencia de calor por convección de calor en fluidos necesarias para su buen aprendizaje y formación como ingeniero como lo son:

- Coeficientes de convección forzada bajo diferentes condiciones de trabajo.
- Numero de Reynolds bajo diferentes condiciones de trabajo.
- Nusselt bajo diferentes condiciones de trabajo.
- Transformación de la energía eléctrica y las eficiencias de los sistemas, además poder observar el comportamiento de la temperatura de la superficie de un sistema sometido a flujo de calor constante.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

Estructura del equipo.

Cuenta con un ducto de aire, el cual se utiliza como la entrada del aire al sistema, este tiene una sección transversal de inundación de 120 mm x 120 mm y una longitud de 540 mm aprox. Y se compone de las siguientes partes:

Sensores de entrada: Registra la temperatura de entrada del equipo.

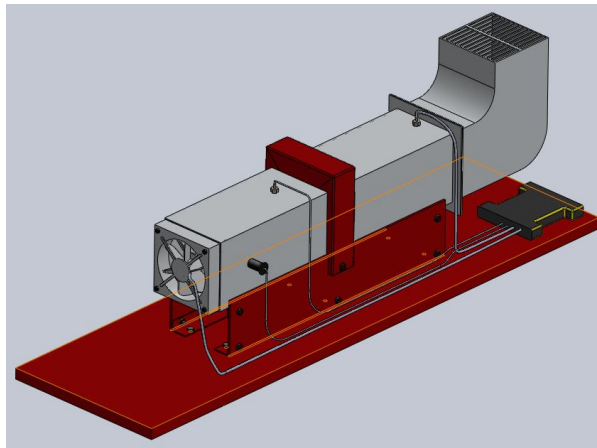
Sensor de salida: registra la temperatura de salida del fluido.

Ventilador: ventilador axial que genera el aumento del caudal y velocidad dentro del ducto

Sensor de velocidad: mide la velocidad del flujo, en m/s

Caja aislante: aislante de temperatura que evita posibles accidentes.

Resistencia térmica: Aumenta la temperatura del aire con una entrada de calor constante



Características técnicas

- Regulación de potencia: 0 - 200W
- Potencia de la fuente: 200 W
- Velocidad máxima del aire de trabajo: 4 m/s
- Temperatura máxima resistencia: 150°C
- Control y obtención de información de sistema: Utilización de software de manejo de datos y automatización LAWVIEW
- Manual de encendido y utilización : Un manual de utilización y encendido

Inicio del laboratorio.

Antes de iniciar con los ensayos se deben leer muy bien las instrucciones para llevar a cabo las prácticas, y cada participante del laboratorio debe conocer el funcionamiento y manejo del equipo.

Para poner en marcha el funcionamiento del equipo es necesario conectar el equipo mediante desde el cable de datos desde el módulo de amplificación de la señal y de control hasta el computador, además se debe conectar el módulo de amplificación de datos a la alimentación del laboratorio, el cual debe tener una alimentación de corriente de 220 V/60 Hz.

Instalación De La Tarjeta De Datos National Instruments

La tarjeta se debe montar en el pc el cual es adicional a los suministros del equipo, se sigue el siguiente procedimiento.

Apagar el PC y desconectar el enchufe de red.

- Abrir la torre del PC
- Buscar una toma libre en la placa base. (Comprobar que la dirección 0320 HEX del PC Aún no esté ocupada).
- Introducir la tarjeta y atornillarla
- Cerrar la torre del PC
- Conectar la tarjeta multifuncional con el cable de cinta plana

Instalación Del Software LABVIEW

El software labview se instala en el PC, de acuerdo a la guía del usuario y siguiendo los estos pasos:

- Encender el PC e iniciar Windows
- Introducir el primer disquete de instalación en la disquetera
- Abrir el Administrador de archivos de Windows
- Seleccionar la unidad de disco en la se encuentre el disquete de instalación
- Buscar el archivo setup.exe y hacer doble clic en él para ejecutarlo

La instalación se efectúa automáticamente. A continuación se crea un icono propio en Windows que permite iniciar el software de la aplicación.

Utilización del equipo de convección

1. Se gradúa en la plataforma de visualización la velocidad deseada
2. Graduar potencia de entrada de la resistencia en la plataforma de visualización
3. Esperar a obtener una temperatura estable
4. Obtener temperaturas de entrada, salida, velocidad del fluido, temperatura de la resistencia, flujo másico y caudal.
5. Determinar potencia transferida al fluido, eficiencia, número de Reynolds, número de Nusselt, coeficiente de calor.

Ecuaciones de uso

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu}$$

Número de Nusselt

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

Coeficiente de convección

$$h = \frac{NuK}{D}$$

Eficiencia

$$N = \frac{P_{Air}}{P_{In}}$$

Equipo De Laboratorio De Radiación.

Introducción

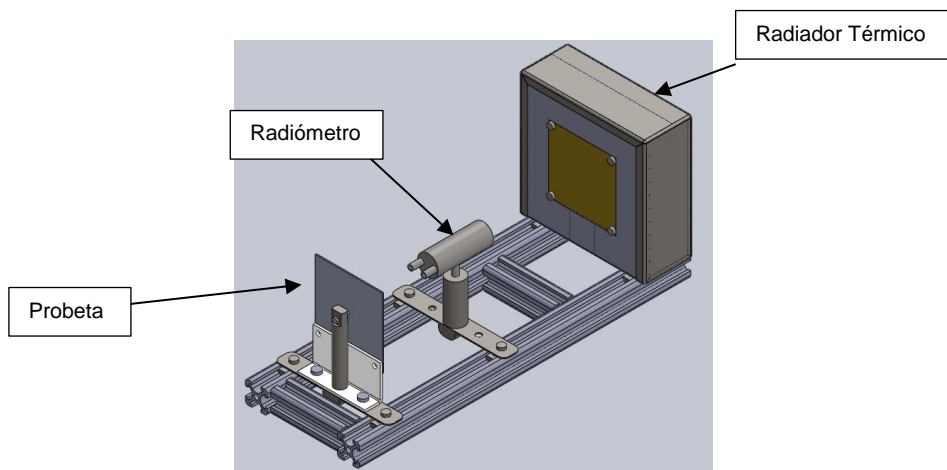
El equipo de laboratorio sirve para determinar la transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas, lo cual se conoce como radiación.

Se puede evidenciar que la transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas de un cuerpo a otro se da por la diferencia de temperaturas de estos, con una temperatura mayor al cero absoluto, en donde a mayor temperatura mayor el número de ondas electromagnéticas, así mismo la pérdida o ganancia de calor de los cuerpos.

El equipo cumple con las características necesarias para determinar las leyes de

- Ley de la distancia de Lambert
- Ley de Stefan-Boltzmann
- Leyes de Kirchhoff (absorción, reflexión, emisión)

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.



- Resistencia

- Reflector
- Probeta o placas de absorción
- Sensor de temperatura
- Termopila.

Características técnicas

- Distancia entre emisor y receptor: 200 mm
- Tamaño Probeta: 80 cm²
- Textura probeta: Fundición, Pulido, Extruido en frío
- Regulación de potencia: 0 - 200W
- Potencia de la fuente: 200 W
- Temperatura Probeta: temperatura ambiente
- Calor Radiante: 0 – 700W/m².
- Material: Metal, no metal, y material reflectivo.
- Número de subsistemas: 5, los cuales cuenta con Ducto de flujo, unidad de calentamiento, unidad de medición.

Inicio del laboratorio.

Antes de iniciar con los ensayos se deben leer muy bien las instrucciones para llevar a cabo las prácticas, y cada participante del laboratorio debe conocer el funcionamiento y manejo del equipo.

Para poner en marcha el funcionamiento del equipo es necesario

- Encender el amplificador de la medición.
- Ajustar la termopila sujetándola al radiador térmico y conectar al amplificador a una distancia $L = 100$ mm del radiador térmico y conectarla al amplificador de la medición, Encender el amplificador de la medición.
- Conectar el radiador térmico y encenderlo.
- Ajustar el regulador de potencia del amplificador.
- Registrar una serie de medición en que la distancia L se vaya reduciendo en cantidades relevantes y en que se pueda leer la capacidad de radiación E y la distancia L cada vez.
- Se conecta el equipo el cual debe tener una alimentación de corriente de 220 V/60 Hz.

Utilización del equipo de convección

Demostración de Relación de la distancia al cuadrado y la energía de radiación

1. Encender el equipo
2. Instalar los software de visualización (si no está instalado)
3. Encender el equipo
4. Seleccionar temperatura de trabajo no mayor a 180°C
5. Colocar la pila térmica a una distancia de 300 mm
6. Registrar la una serie de mediciones del sistema estacionario donde la distancia se va aumentando hasta 600 mm.
7. Registrar los datos en una hoja de logarítmica, obteniendo una relación de $E = 1/L^2$

Demostración ley de Stephan Boltzmann

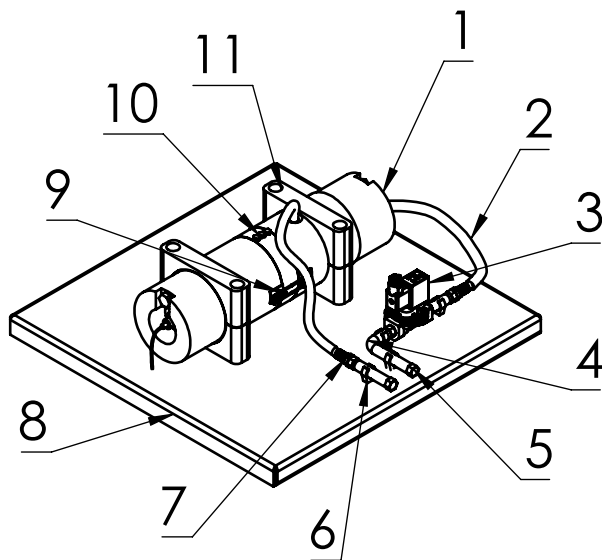
1. Realizar los primeros 3 puntos anteriores
2. Seleccionar 180°C de temperatura del radiador térmico
3. Colocar la pila térmica a 300 mm de distancia.
4. Registrar temperatura (°C) y la radiación térmica (W/m^2) en aumentos de temperatura de 10°C desde 90 °C o menos a 180°C.
5. Registrar los valores en papel logarítmico y obtener la pendiente de la recta.

Características de material

1. Realizar los primeros 3 puntos anteriores
2. Colocar la probeta a 300 mm
3. Seleccionar 300°C en el radiador
4. Registrar temperatura final en la probeta
5. Obtener coeficientes de emisividad, reflexión, absorción con las diferentes probetas.

ANEXO 10.

PLANOS DE DISEÑOS DE EQUIPOS DE LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR



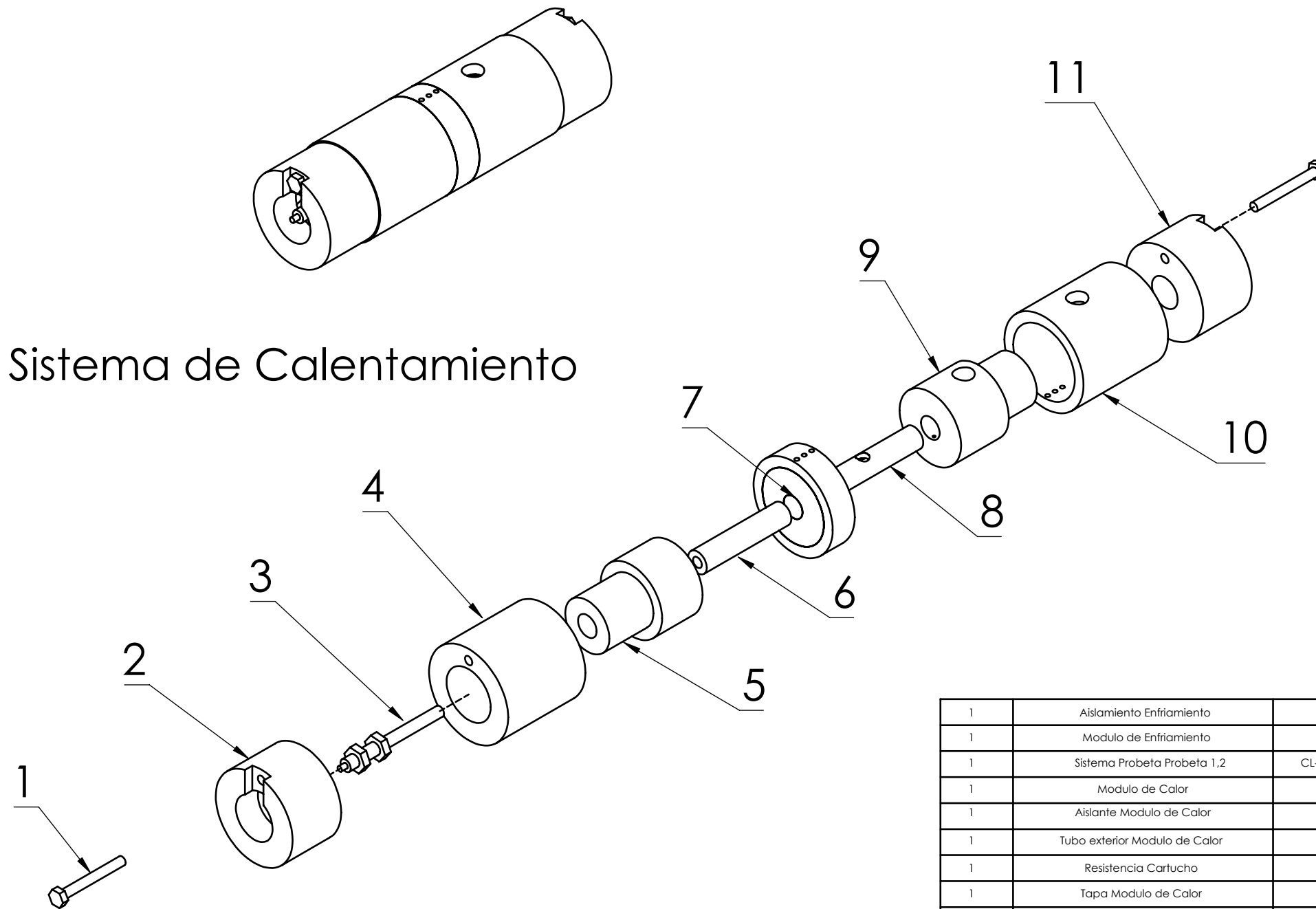
2	Abrazadera Diametro Tubo 4"		PP		
9	Sensor PT100		AISI 304	10	
1	Sujeción de Probeta	CL-SS		9	
1	Base Equipo	CL-B	ASTM A36	8	
4	Adaptador 1/2 pulg Manguera x 1/4 pulg NPT Macho		Latón	7	
4	Abrazadera Diametro interno 1/2 pulg		PET	6	
2	Tubo \varnothing 1/2 pulg. HH. Long. 70 mm		Cobre Tipo K	5	
1	Codo 90°C \varnothing 1/2 pulg. HH		Cobre Tipo K	4	
1	Electroválvula \varnothing 1/2 pulg 2/2 NC		Latón	3	
2	Manguera 1/2 pulg. Long. 30 mm		PET	2	
1	Sistema de Calentamiento	CL-SC		1	
No. de Piezas	Denominación	No. plano	Material	No. de Orden	Observaciones

				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS:	12.27 Kg	Ver Elemento	
				LINEAL: +/- 0.002			
				ANGULAR: +/- 0.1°			
				FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:10
				Dib.	Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Lineal	A4
				Rev.			
				Apro.			
						N.º DE DIBUJO	
						Componentes de Equipo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			CL 1-13	Dimensiones : mm



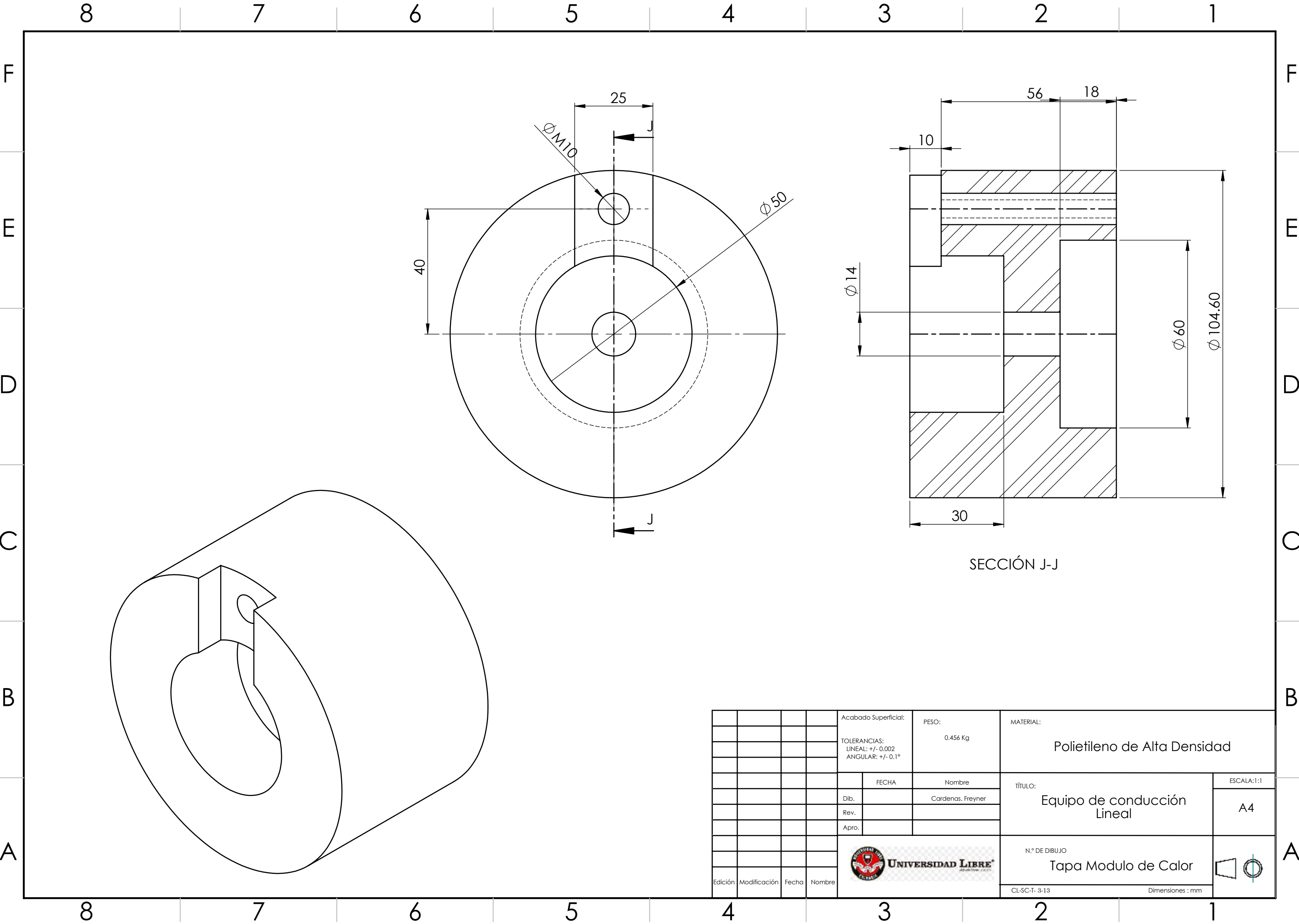
UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA

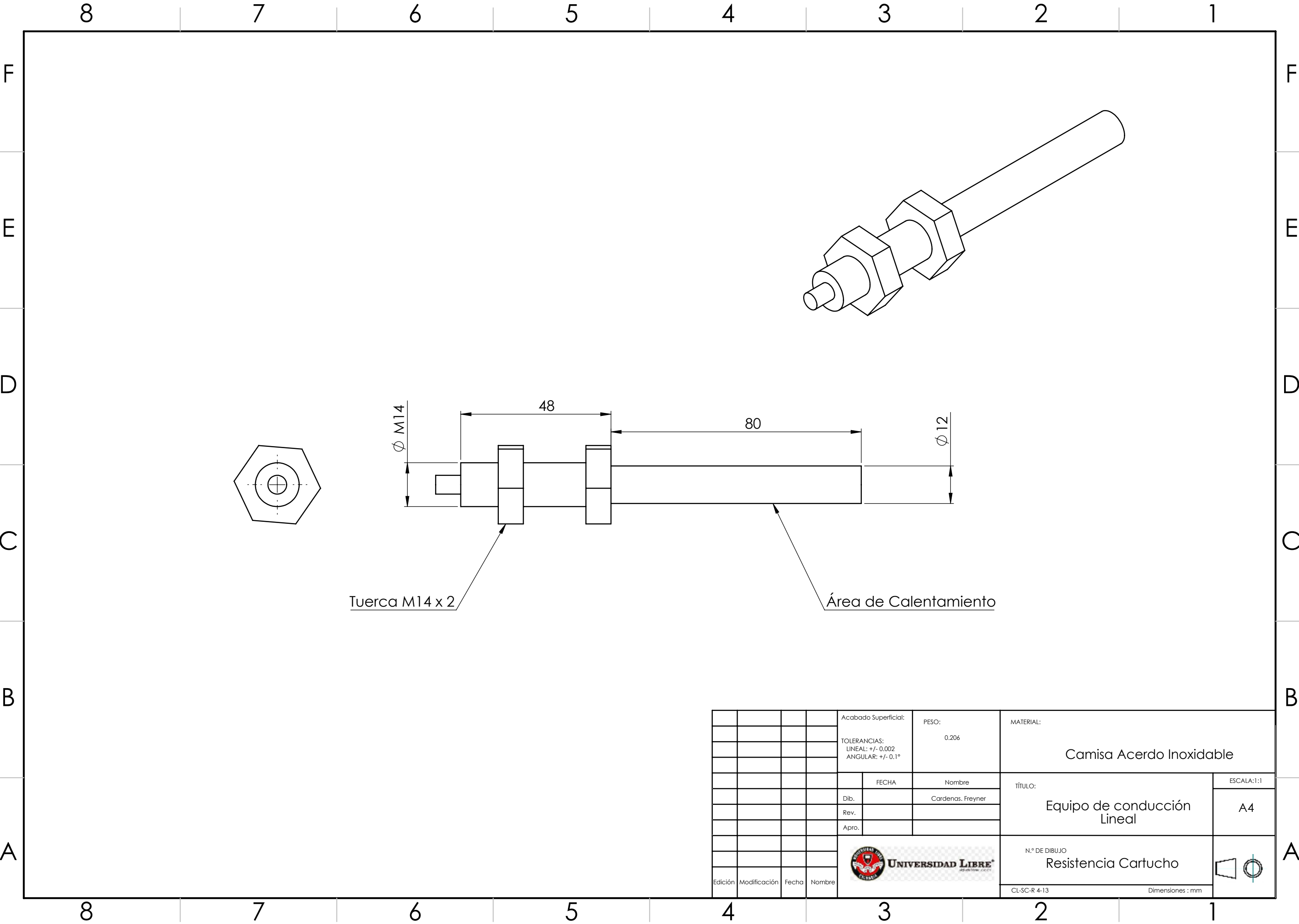
Sistema de Calentamiento




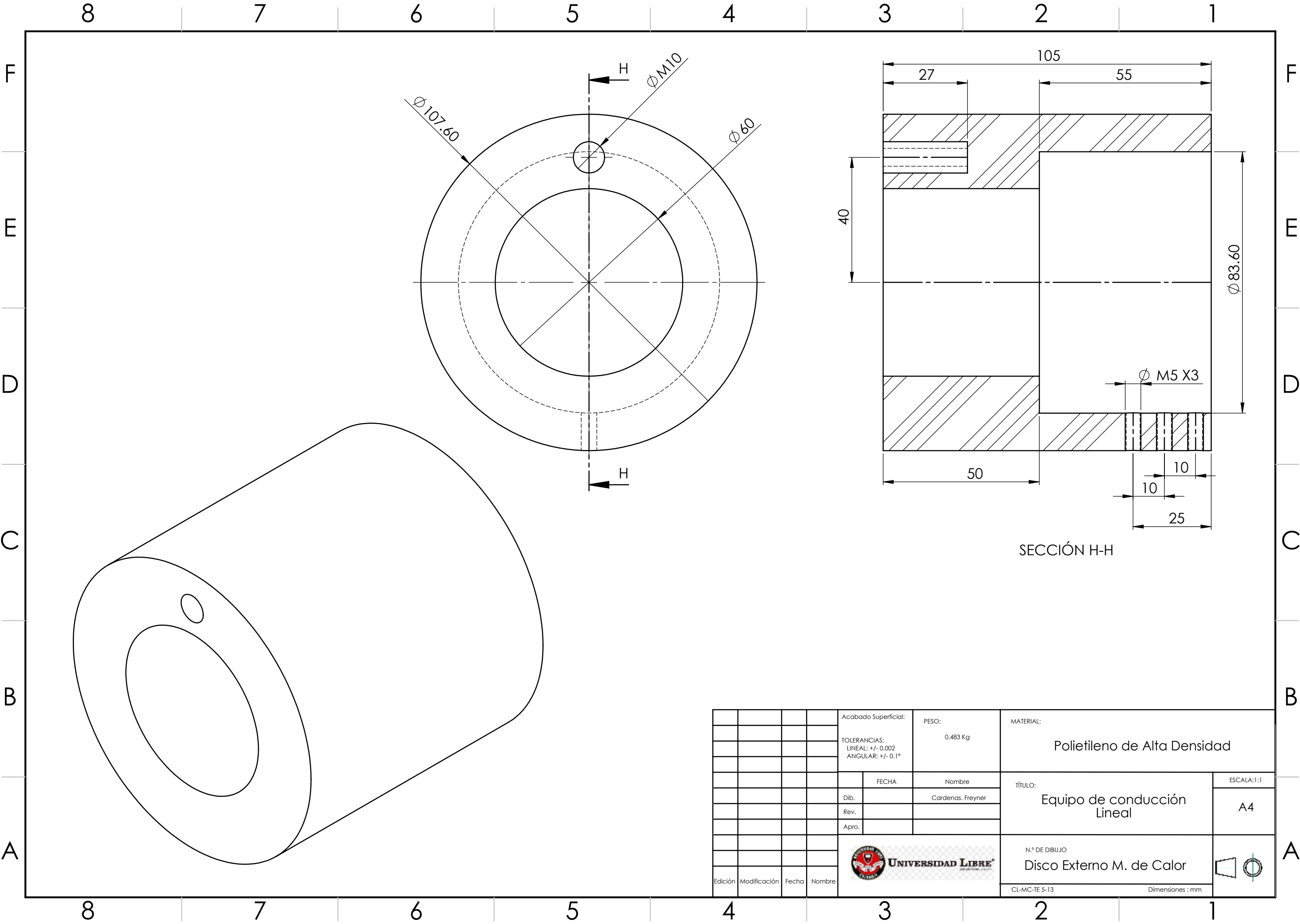
1	Aislamiento Enfriamiento			CL-SC-AE	Latón	9	
1	Modulo de Enfriamiento			CL-SC-ME	Latón	8	
1	Sistema Probeta Probeta 1,2			CL-SC-P1 , CL-SC-P2	Latón, Acero	7	
1	Modulo de Calor			CL-MC-MC	Latón	6	
1	Aislante Modulo de Calor			CL-SC-AC	Fibra de Vidrio Org.	5	
1	Tubo exterior Modulo de Calor			CL-SC-TE	PVC	4	
1	Resistencia Cartucho			CL-SC-R	Acero Inox. AISI 304	3	
1	Tapa Modulo de Calor			CL-SC-T	PP	2	
2	Tornillo Cabeza Hexagonal M10 x 80 mm				ASTM A240	1	
No. de Piezas	Denominación			No. plano	Material	No. de Orden	Observaciones

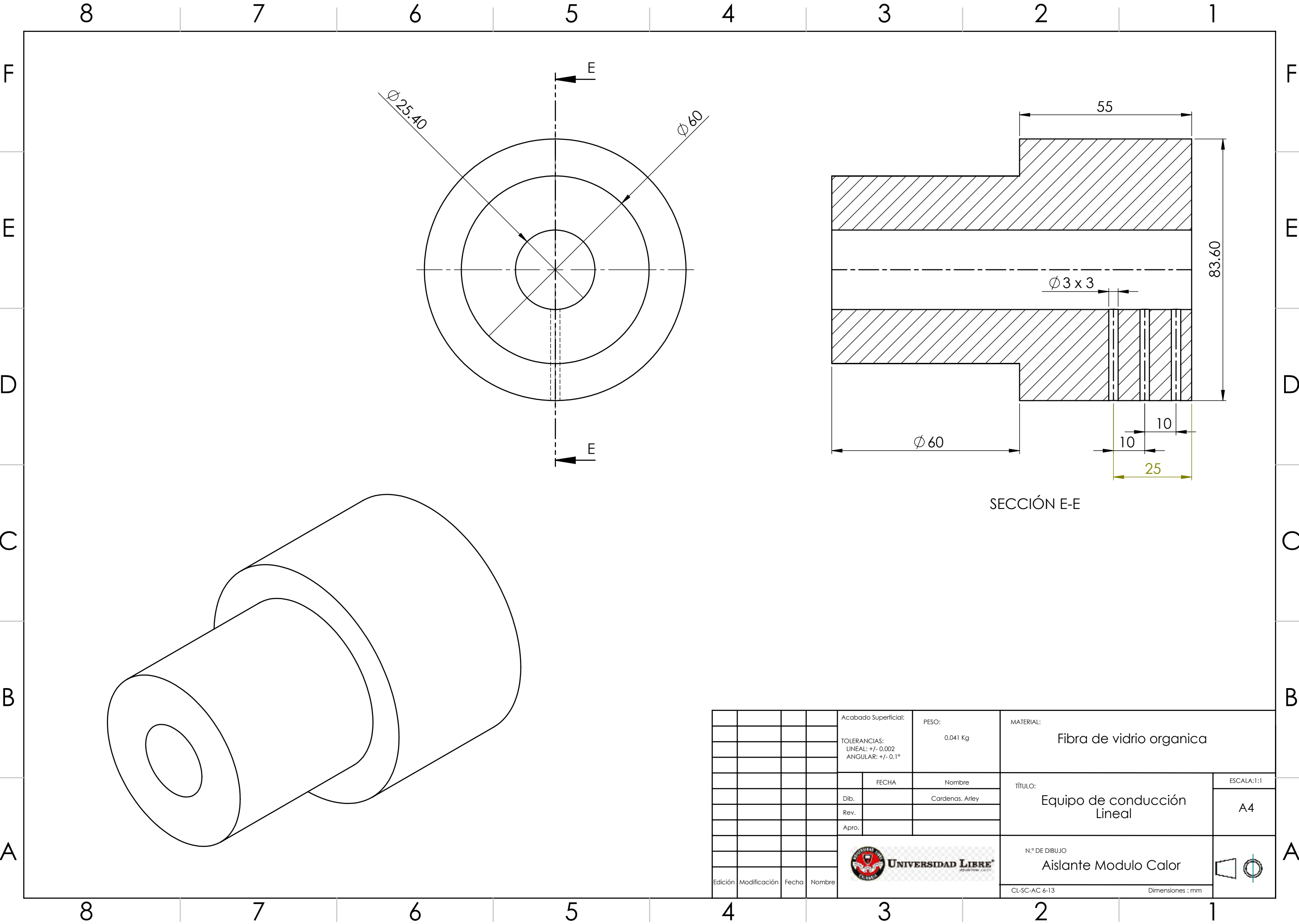
				Acabado Superficial:	PESO: 3.226 Kg	MATERIAL: <
--	--	--	--	----------------------	-----------------------	--

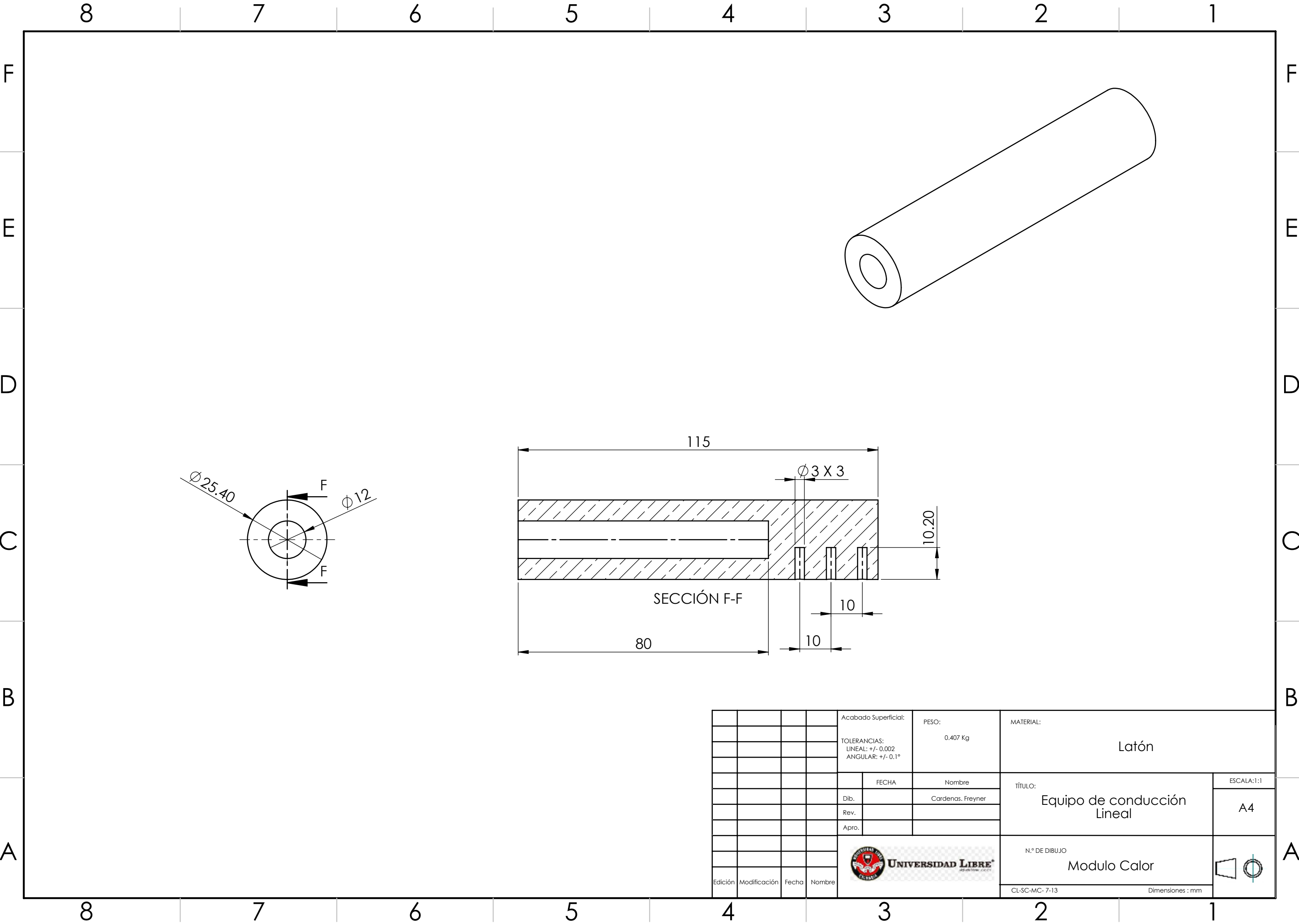




				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.206	Camisa Acerdo Inoxidable	
					FECHA	Nombre	ESCALA: 1:1
				Dib.		Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Lineal
				Rev.			
				Apro.			
				 UNIVERSIDAD LIBRE		N.º DE DIBUJO Resistencia Cartucho	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			CL-SC-R 4-13	
						Dimensiones : mm	







				Acabado Superficial:	PESO: 0.407 Kg	MATERIAL: Latón	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°			
					FECHA	Nombre	ESCALA: 1:1
				Dib.		Cardenas, Freyner	TÍTULO: Equipo de conducción Lineal
				Rev.			
				Apro.			
				 UNIVERSIDAD LIBRE		N.º DE DIBUJO	
						Modulo Calor	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			CL-SC-MC- 7-13	Dimensiones : mm

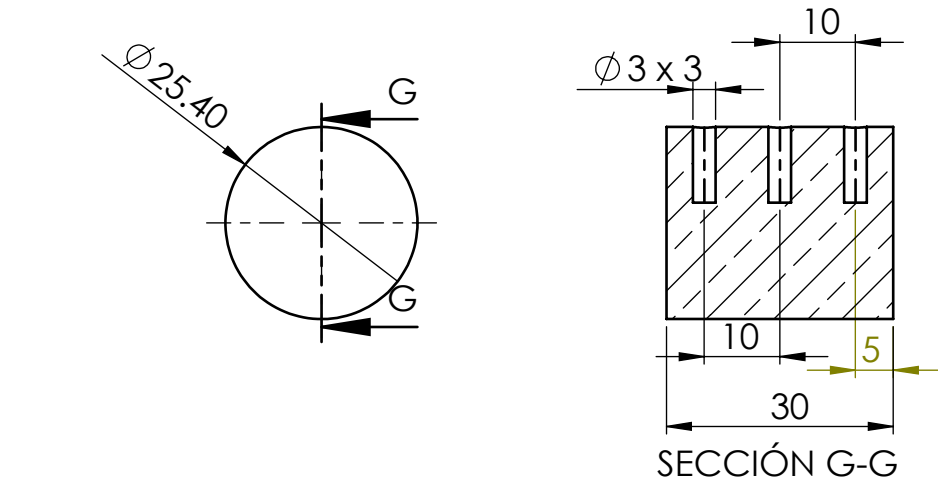
8 7 6 5 4 3 2 1

F

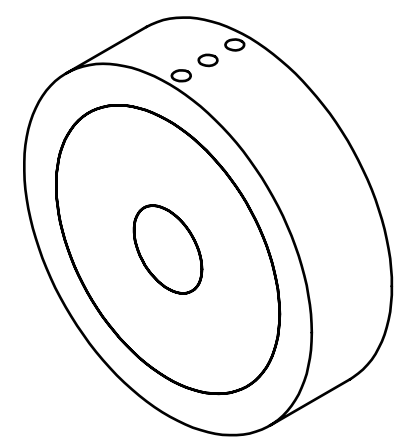
F

E

E



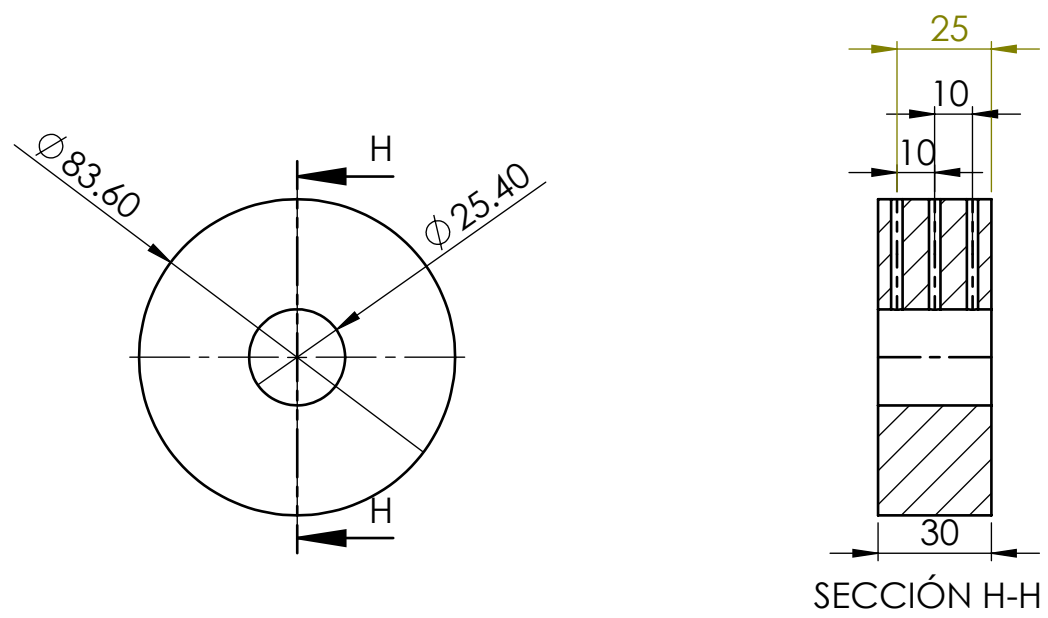
Probeta Latón



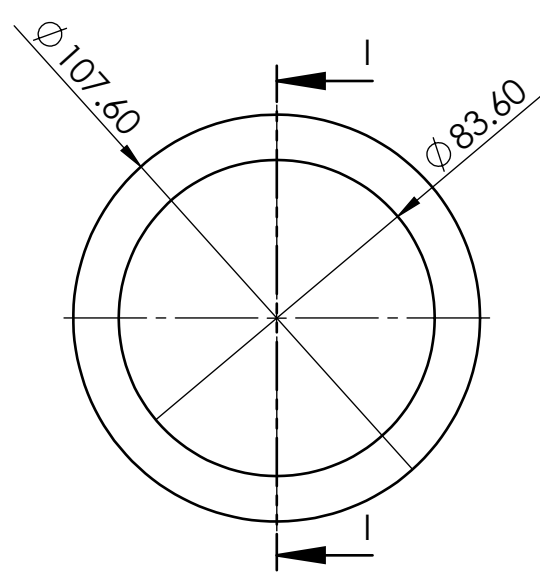
Ensamble Probeta
Escala 1:2

D

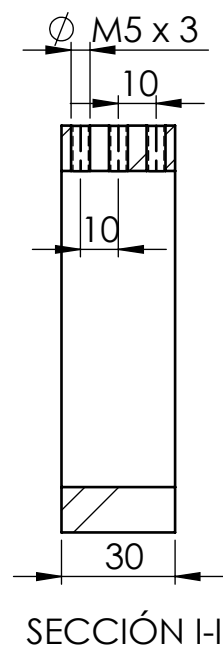
D



Aislamiento Probeta
Fibre de Vidrio Orgánica
Escala 1:2



Aislamiento Probeta
Polietileno de alta densidad
Escala 1:2



B

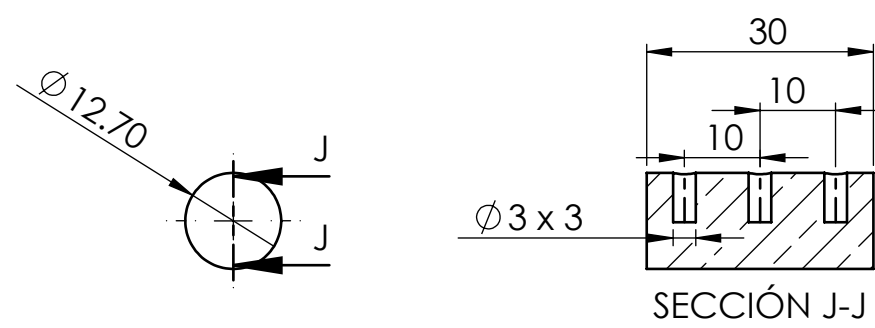
B

A

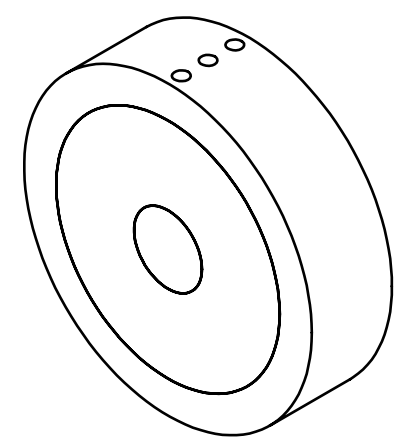
A

				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS:	0.244 Kg	Ver Componente	
				LINEAL: +/- 0.002			
				ANGULAR: +/- 0.1°			
				FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA: 1:1
				Dib.	Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Lineal	A4
				Rev.			
				Apro.			
						N.º DE DIBUJO	
						Probeta 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			CL-SC-MC 8-13	Dimensiones : mm

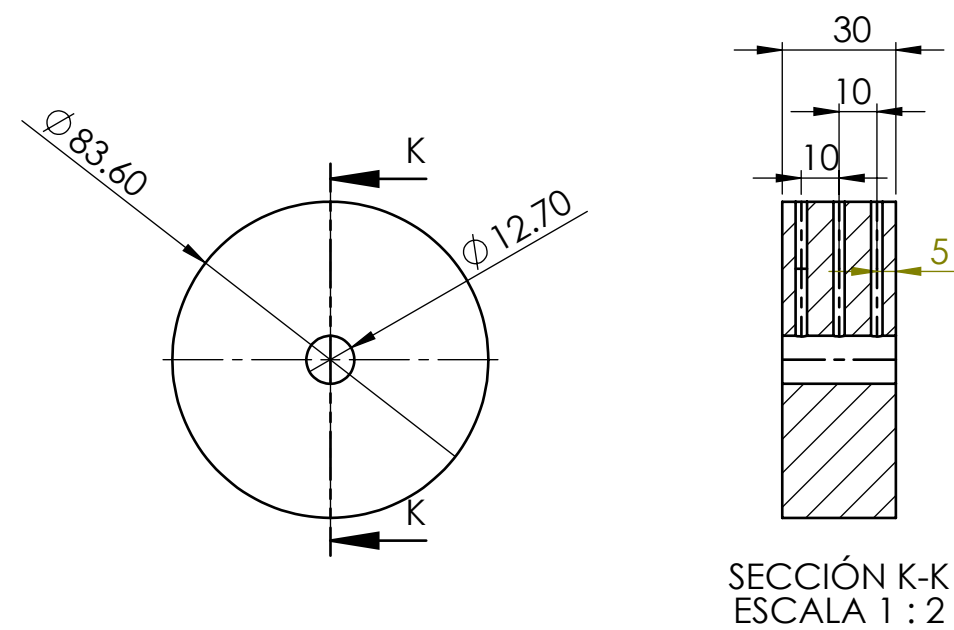
8 7 6 5 4 3 2 1



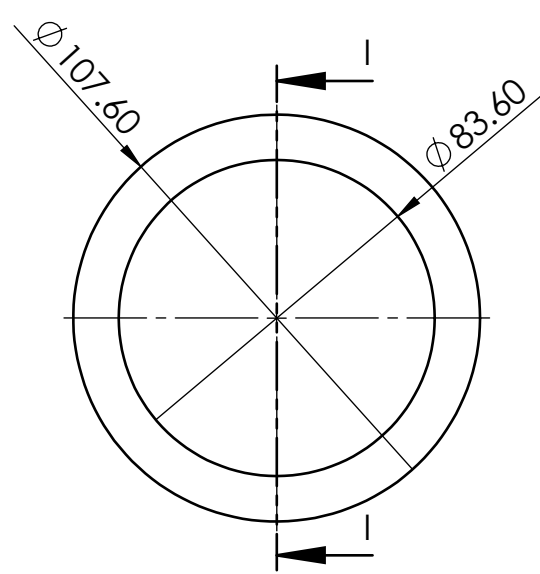
Probeta Latón



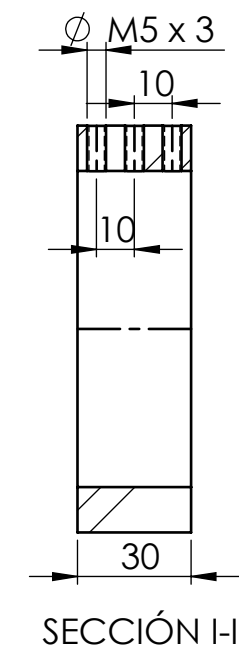
Ensamble Probeta
Escala 1:2





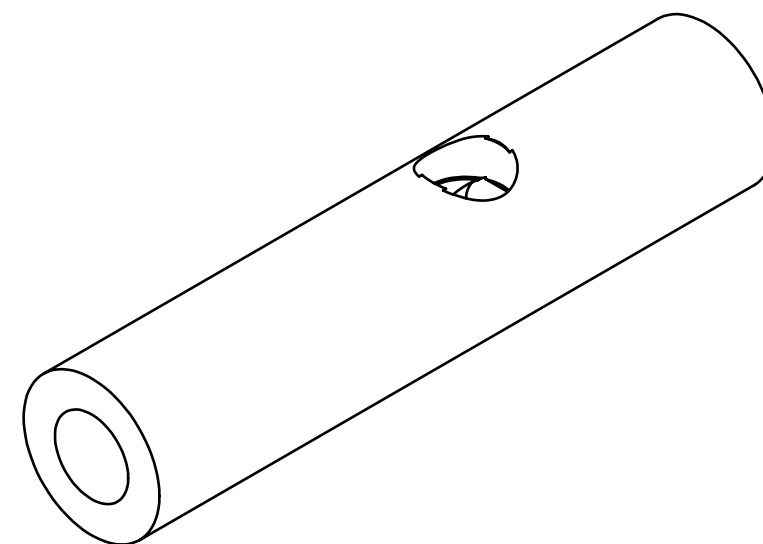
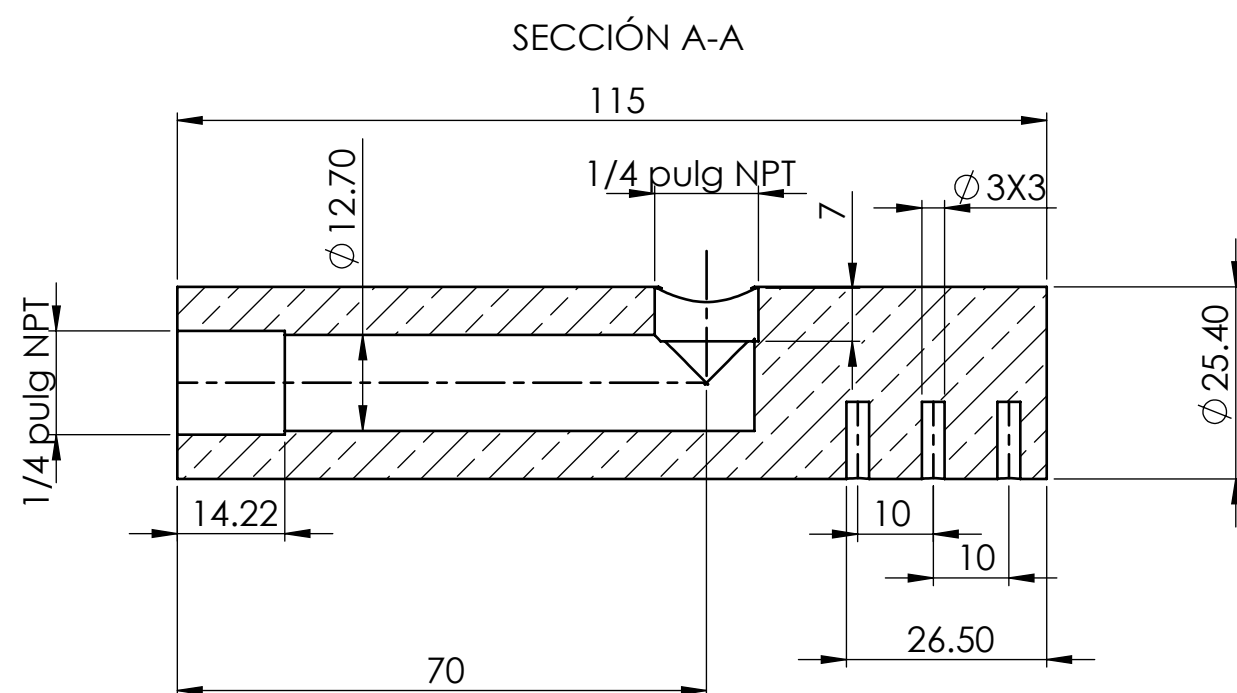
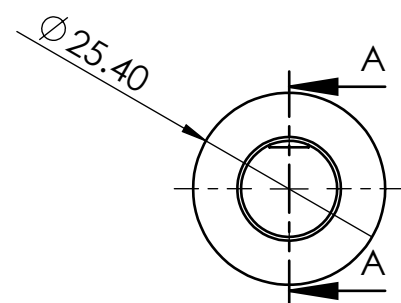
Aislamiento Probeta
Fibre de Vidrio Orgánica
Escala 1:2



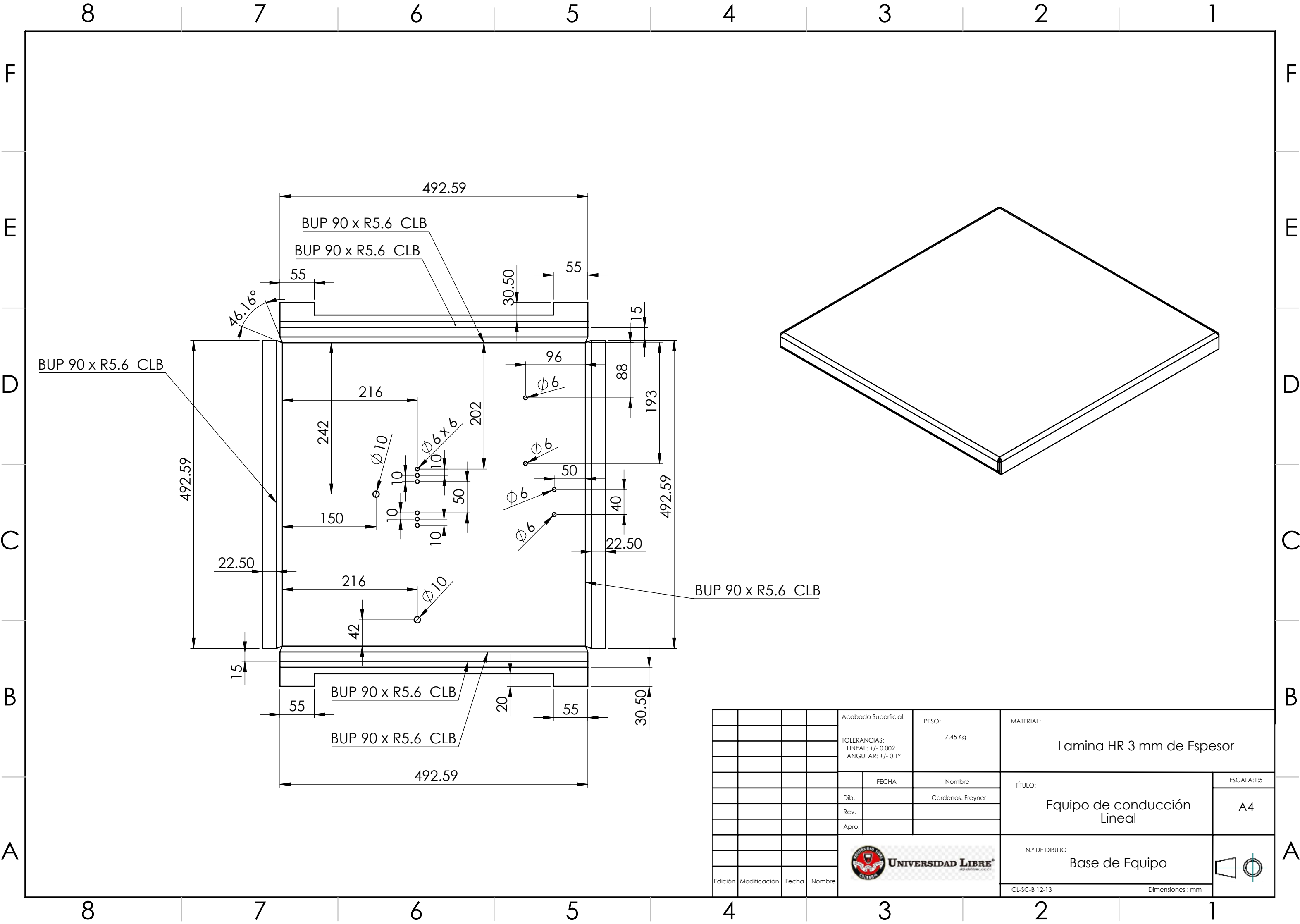
Aislamiento Probeta
Polietileno de alta densidad
Escala 1:2



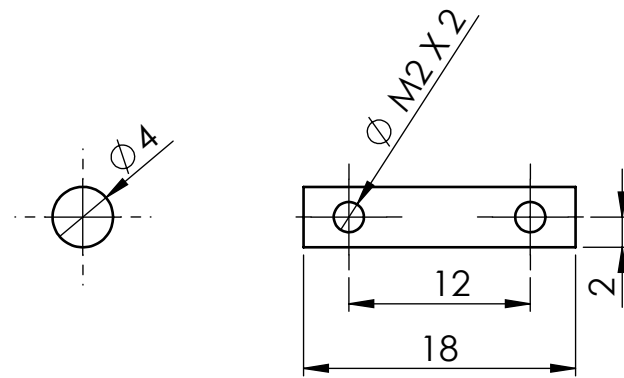
				Acabado Superficial:		PESO:	MATERIAL:		
				TOLERANCIAS:		0.149 Kg	Ver Componente		
				LINEAL: +/- 0.002					
				ANGULAR: +/- 0.1°					
					FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:1	
				Dib.		Cardenas, Freyner		Equipo de conducción Lineal	A4
				Rev.					
				Apro.					
				 UNIVERSIDAD LIBRE <small>por la vida, por el conocimiento</small>					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						
				N.º DE DIBUJO					
				Probeta 2					
				CL-SC-P2 9-13					
				Dimensiones : mm					
									



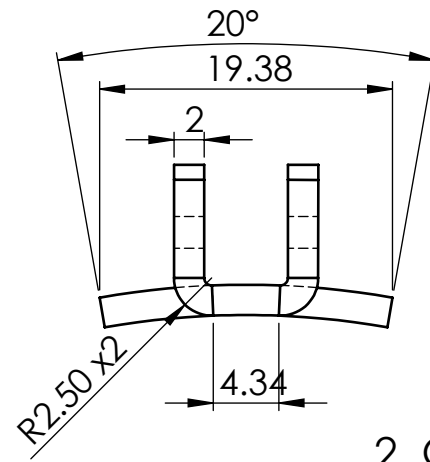
				ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	PESO: 0.4 Kg	MATERIAL: LATÓN		
					FECHA	Nombre	TÍTULO: Equipo de conducción Lineal	ESCALA:1:1
				Dib.		Cardenas, Arley		A4
				Rev.				
				Apro.				
				 UNIVERSIDAD LIBRE® <small>LIBRE PARA TODOS</small>		N.º DE DIBUJO Módulo de Enfriamiento		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					
						CL-SC-ME 10-13	Dimensiones : mm	



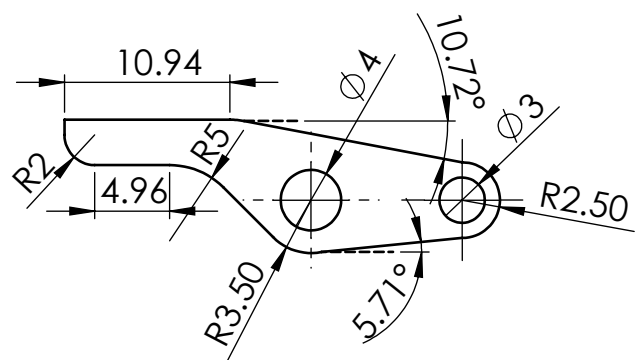
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



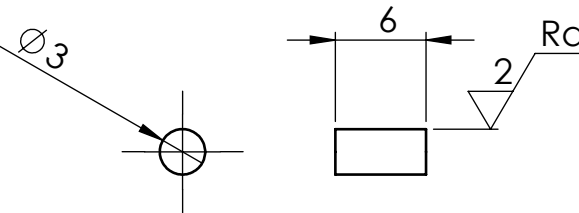
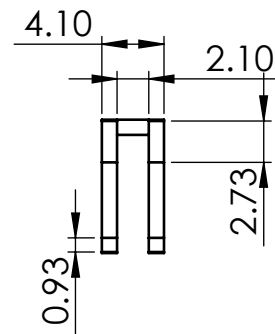
1. Barra Estabilizadora ASTM A36



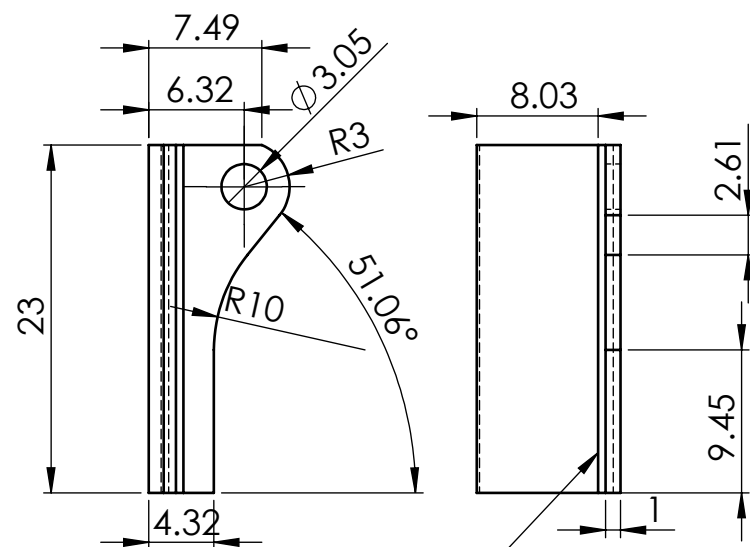
2. Gancho Sujeción
Lámina 2 mm AISI 1045 CR



3. Planca
Lámina 1 mm AISI 1045 CR

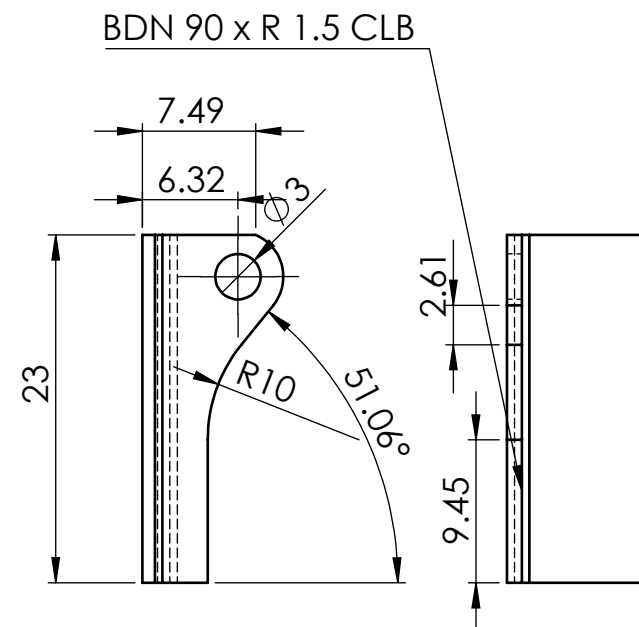


4. Pasador 3x6 ISO8742 m6

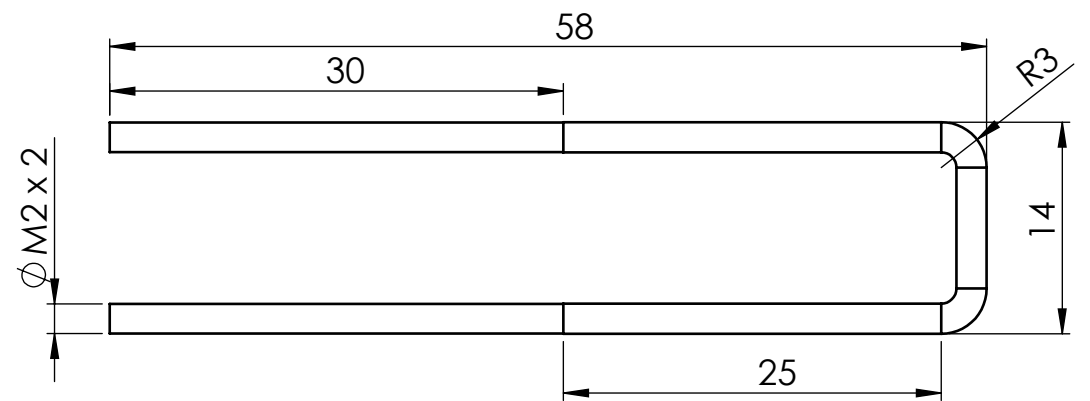
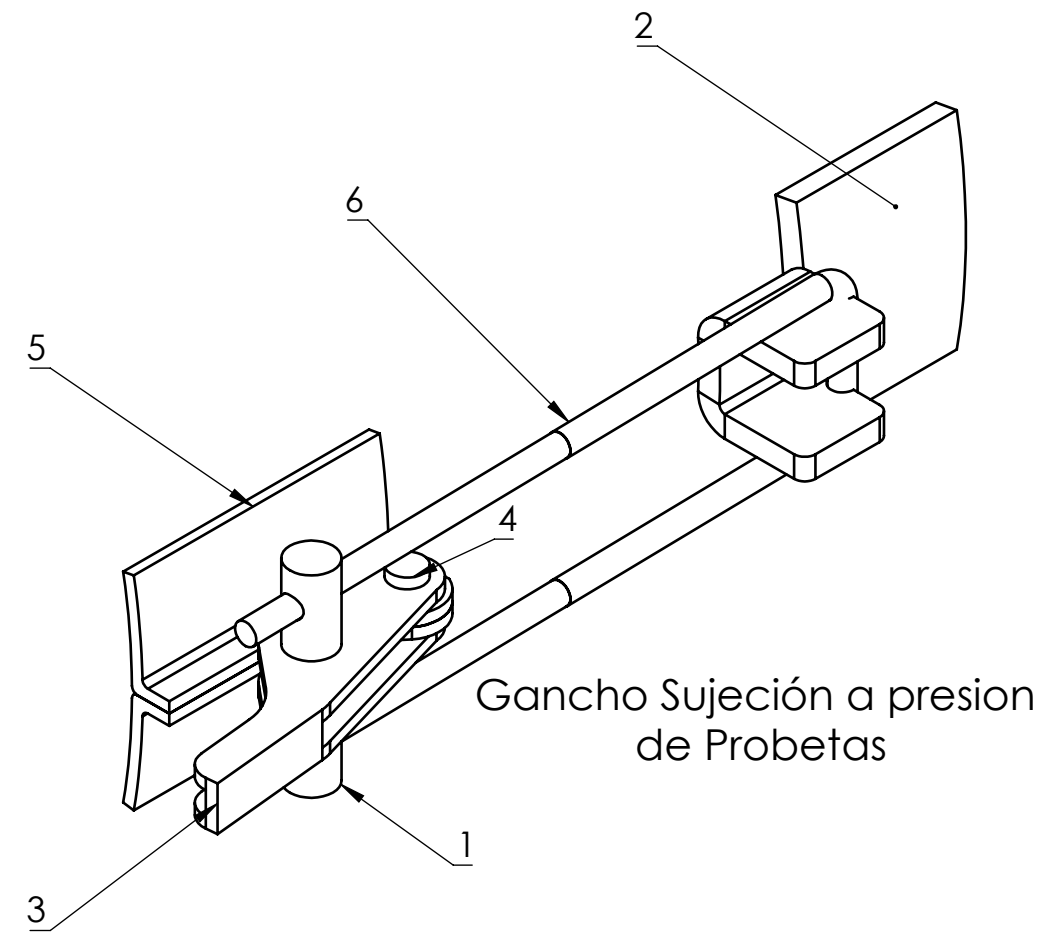


BUP 90 x R 1.5 CLB

5. Lámina Fija 1 mm espesor AISI 1045 CR

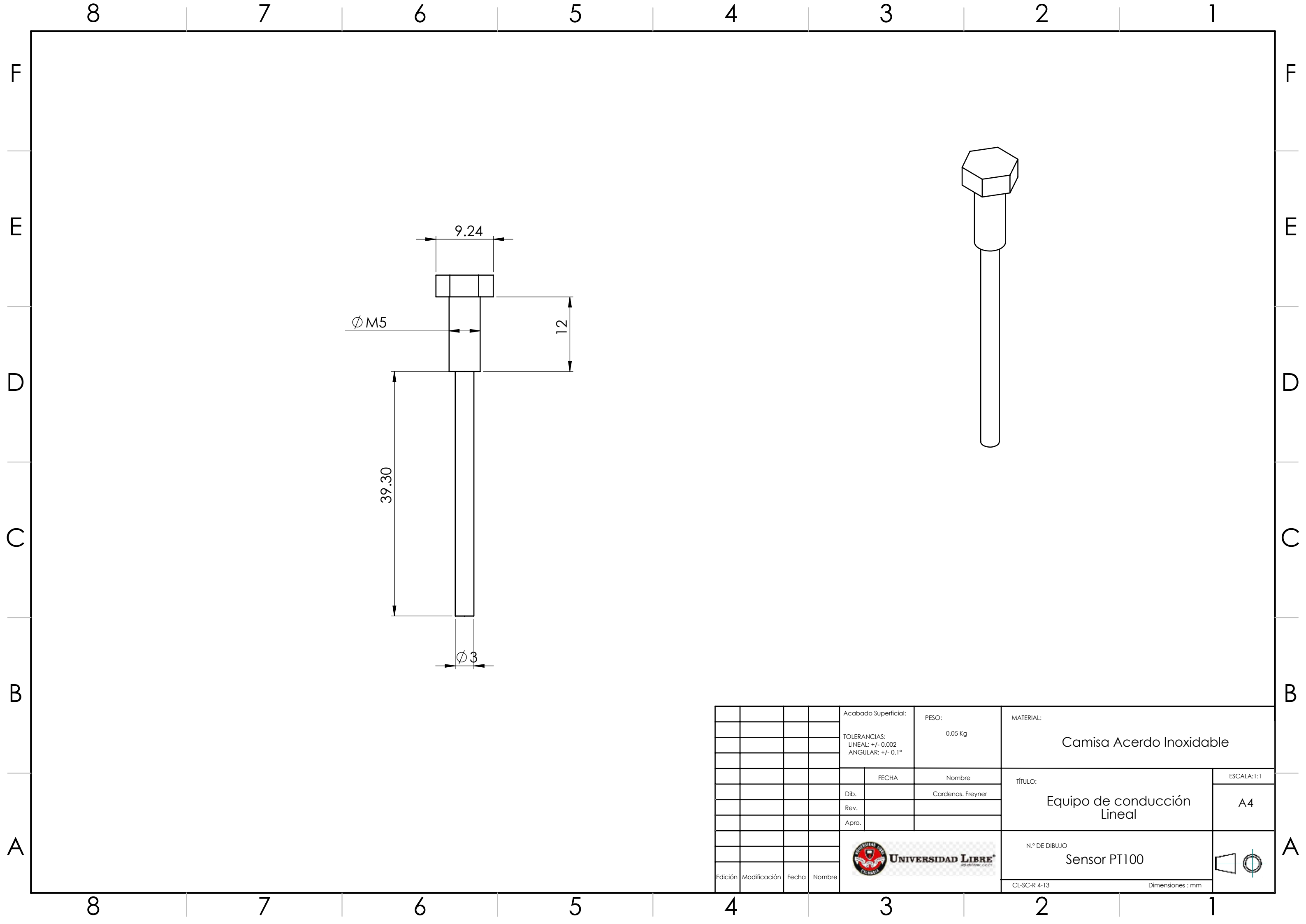




BDN 90 x R 1.5 CLB



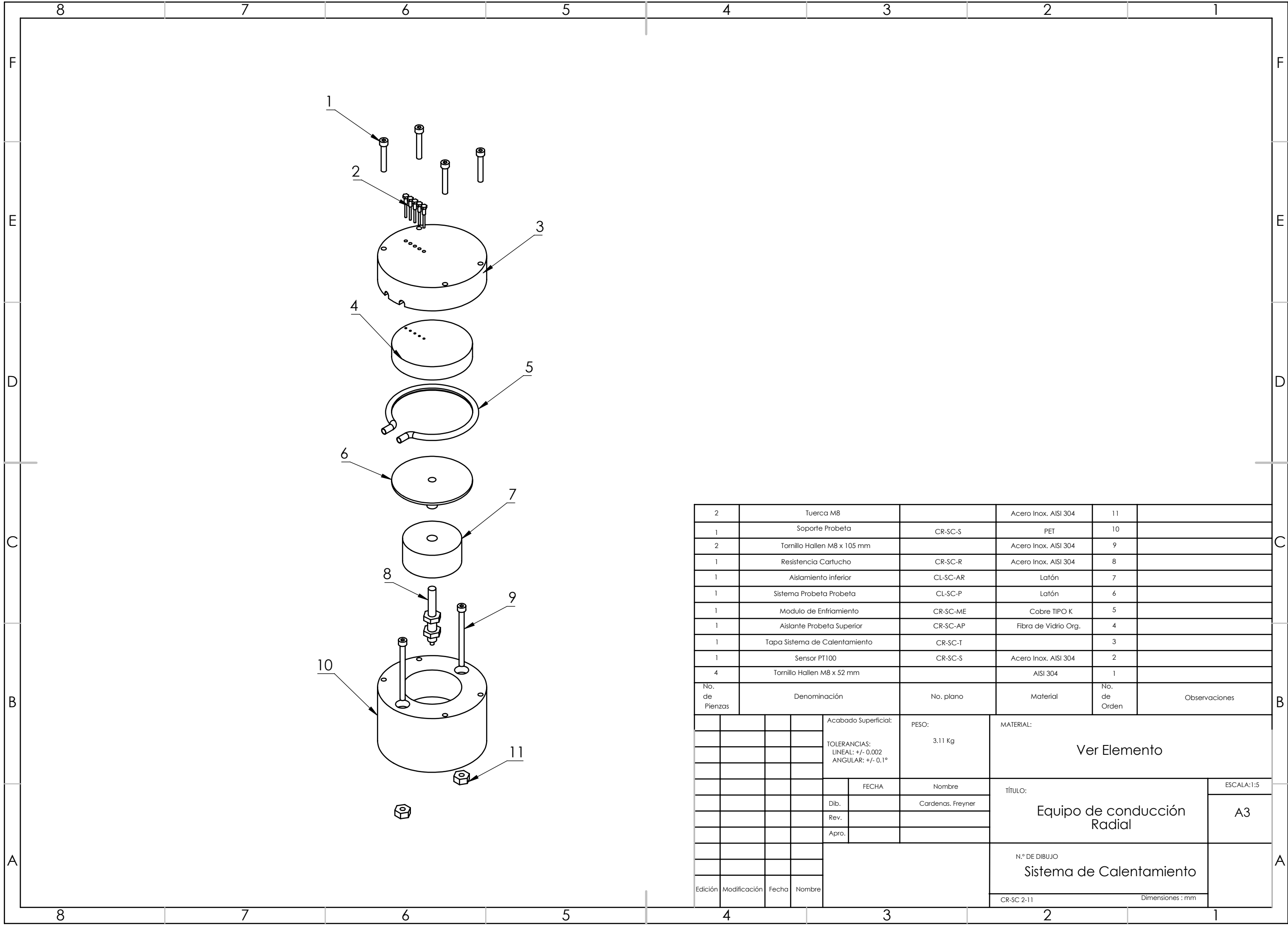
6. Barra De Sujeción
ASTM A36

				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.02 Kg	Ver Elemento	
				FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA: 1:1
				Dib.	Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Lineal	A4
				Rev.			
				Apro.		N.º DE DIBUJO	
				UNIVERSIDAD LIBRE		Gancho de Sujeción Probetas	
				Edición		CL-SS 13-13	Dimensiones : mm
				Modificación			
				Fecha			
				Nombre			

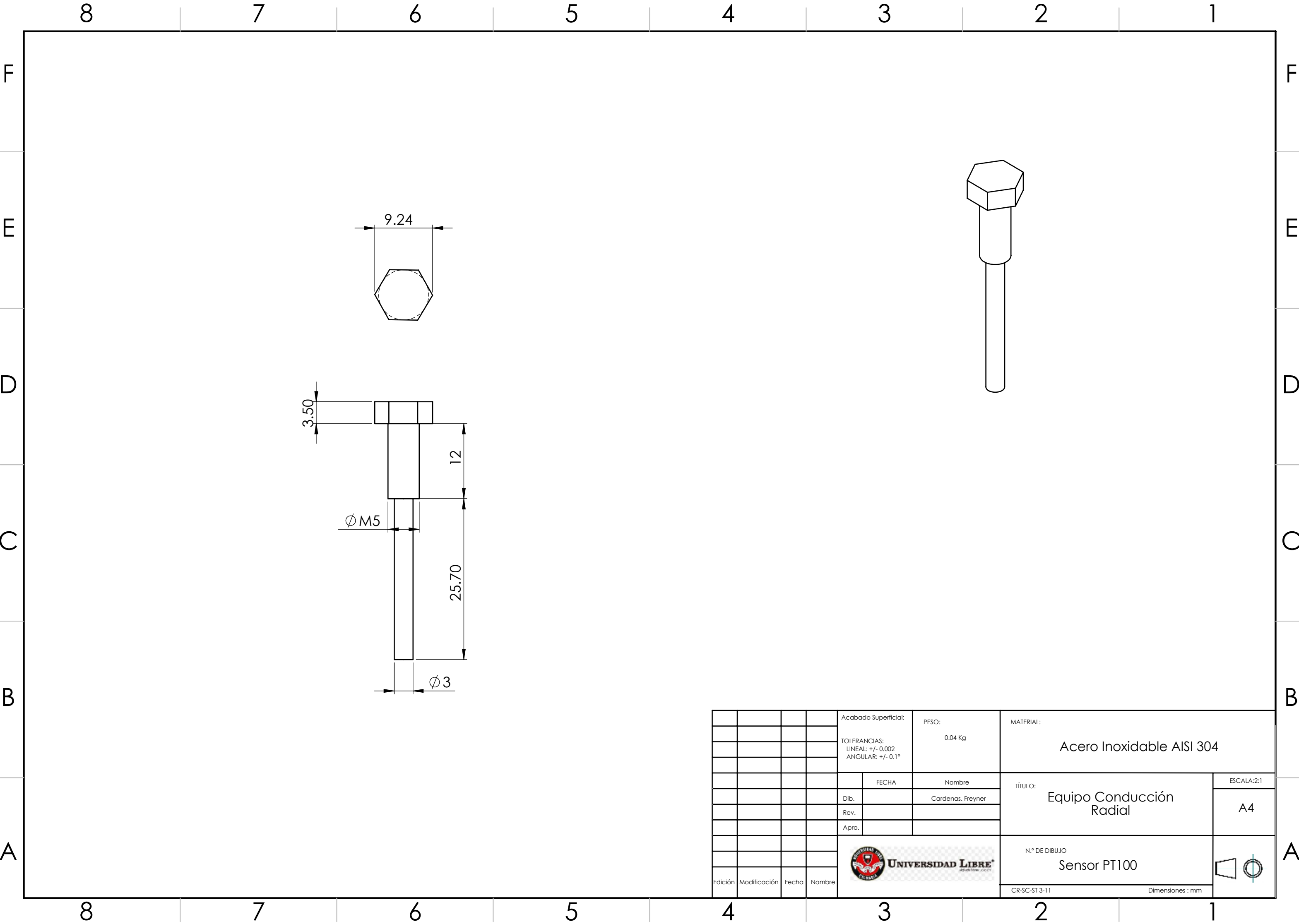


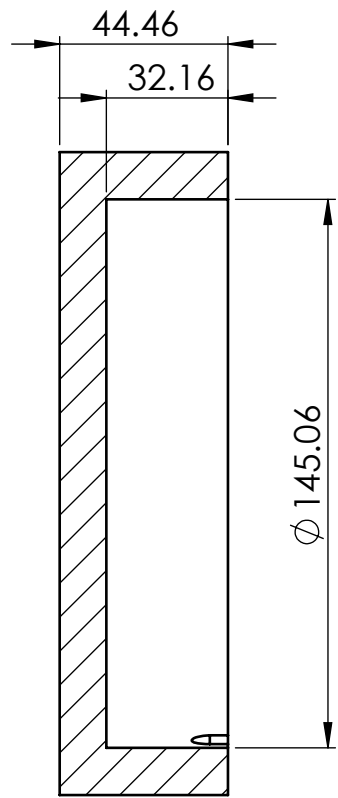
				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:		
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.05 Kg	Camisa Acerdo Inoxidable		
					FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:1
				Dib.		Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Lineal	A4
				Rev.				
				Apro.				
				 UNIVERSIDAD LIBRE			N.º DE DIBUJO	
							Sensor PT100	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				CL-SC-R 4-13	Dimensiones : mm

4				3				2				1			
<div style="text-align: center;"> </div>															
1		Base Equipo				CL-B		ASTM A36		9					
2		Manguera 1/2 pulg. Long. 300 mm						PET		8					
4		Abrazadera Diametro interno 3/8 pulg						PET		7					
1		Codo 90°C Ø 3/8 pulg. HH						Cobre Tipo K		6					
2		Tubo Ø 3/8 pulg. HH, Long. 70 mm						Cobre Tipo K		5					
1		Electroválvula Ø 3/8 pulg 2/2 NC						Bronce		4					
4		Adaptador 3/8 pulg Manguera x 3/8 pulg NPT						Cobre Tipo K		3					
2		Adaptador Reducción 1/4 pulg x 3/8 PULG						Cobre Tipo K		2					
1		Sistema de Calentamiento				SC				1					
No. de Piezas		Denominación				No. plano		Material		No. de Orden		Observaciones			
		Acabado Superficial:				PESO:		MATERIAL:							
		TOLERANCIAS:				10.92 Kg		Ver Elemento							
		LINEAL: +/- 0.002													
		ANGULAR: +/- 0.1°													
		FECHA		Nombre		TÍTULO:						ESCALA:1:10			
		Dib.		Cardenas, Freyner								A4			
		Rev.													
		Apro.													
						N.º DE DIBUJO									
						Componentes de Equipo									
Edición		Modificación		Fecha		Nombre		CL 1-11						Dimensiones : mm	
4		3		2		1									

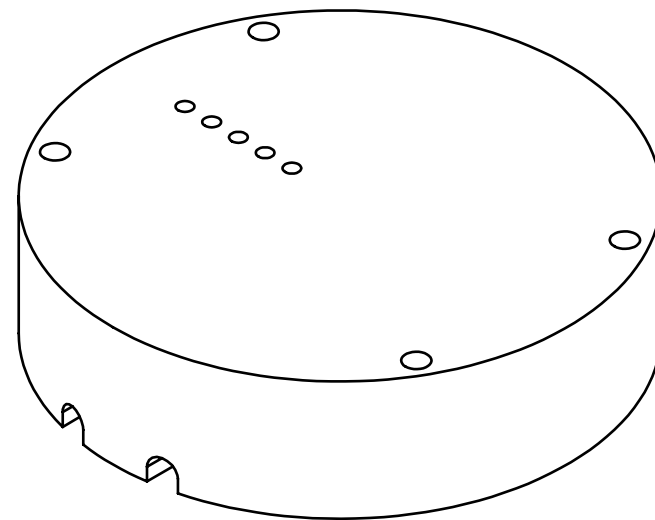
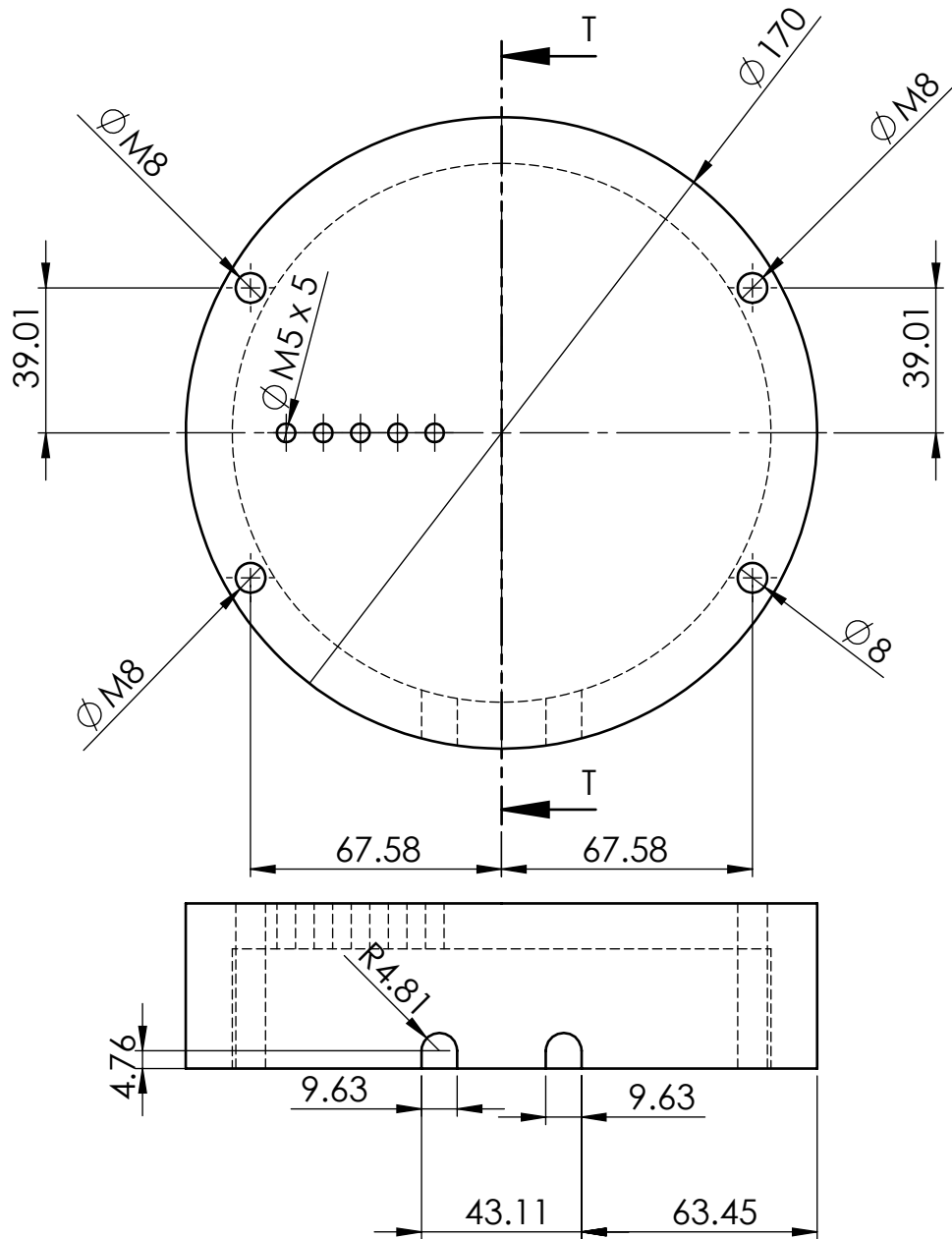


2	Tuerca M8		Acero Inox. AISI 304	11	
1	Soporte Probeta		CR-SC-S	PET	10
2	Tornillo Hallen M8 x 105 mm		Acero Inox. AISI 304		9
1	Resistencia Cartucho		CR-SC-R	Acero Inox. AISI 304	8
1	Aislamiento inferior		CL-SC-AR	Latón	7
1	Sistema Probeta Probeta		CL-SC-P	Latón	6
1	Modulo de Enfriamiento		CR-SC-ME	Cobre TIPO K	5
1	Aislante Probeta Superior		CR-SC-AP	Fibra de Vidrio Org.	4
1	Tapa Sistema de Calentamiento		CR-SC-T		3
1	Sensor PT100		CR-SC-S	Acero Inox. AISI 304	2
4	Tornillo Hallen M8 x 52 mm			AISI 304	1
No. de Pienzas	Denominación		No. plano	Material	No. de Orden
			Acabado Superficial:	PESO:	Ver Elemento
			TOLERANCIAS:	3.11 Kg	
			LINEAL: +/- 0.002		
			ANGULAR: +/- 0.1°		
			FECHA	Nombre	TÍTULO:
			Dib.	Cardenas, Freyner	Equipo de conducción Radial
			Rev.		
			Apro.		
					N.º DE DIBUJO
					Sistema de Calentamiento
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	CR-SC 2-11 Dimensiones : mm	

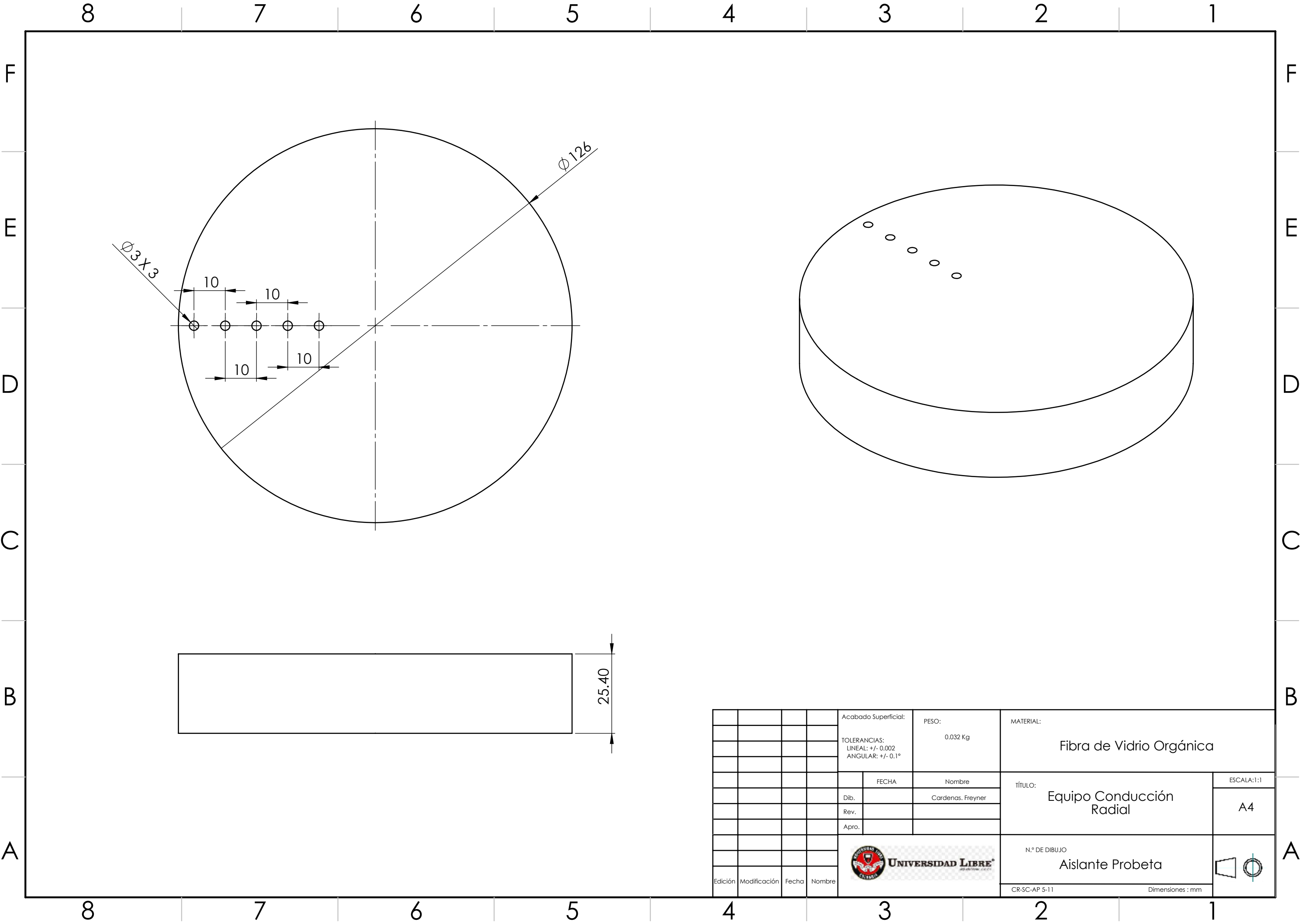





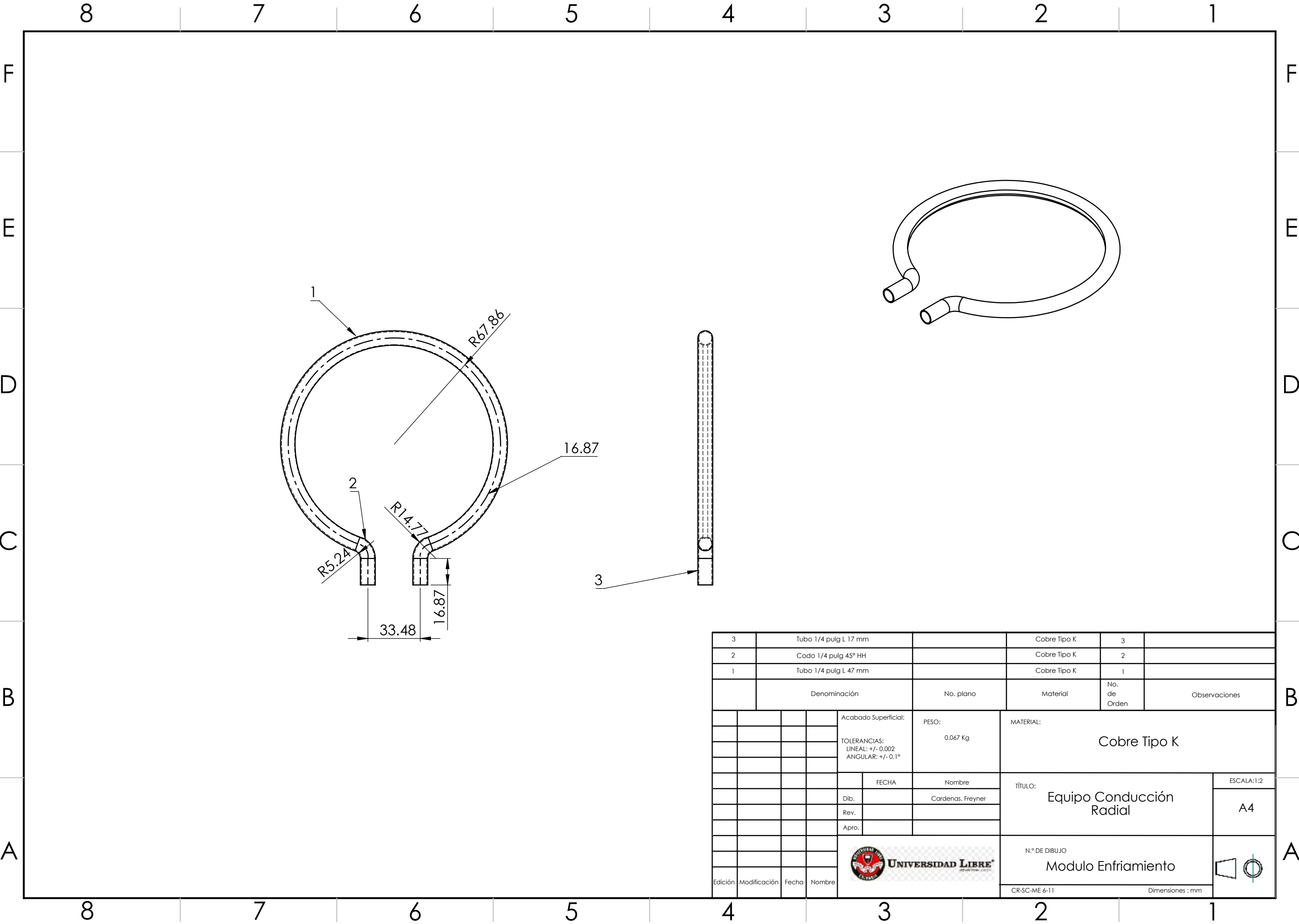
SECCIÓN T-T

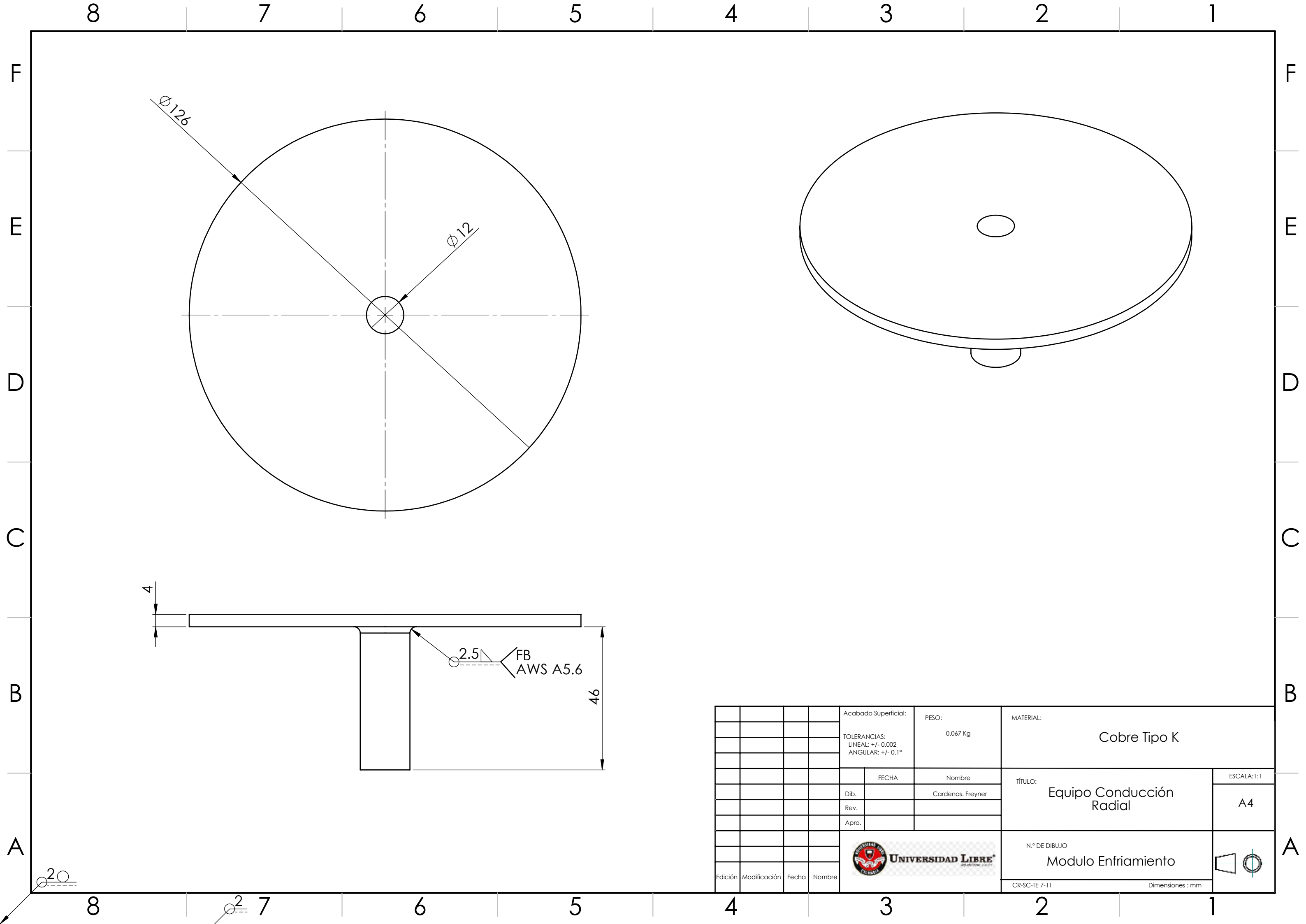


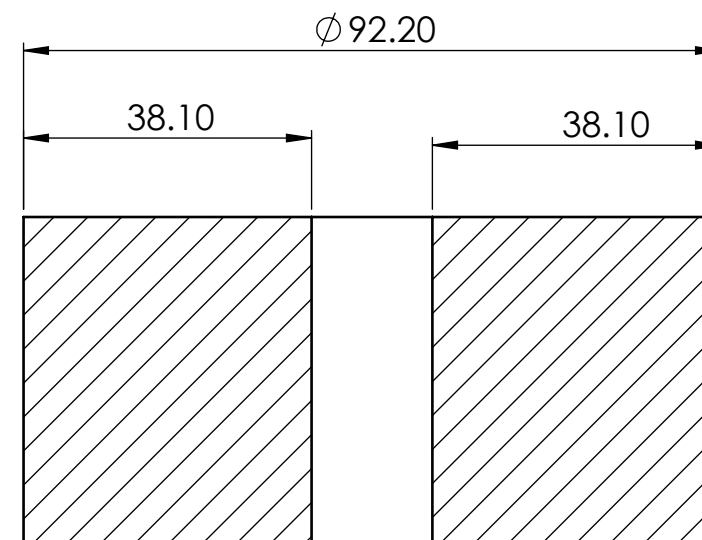
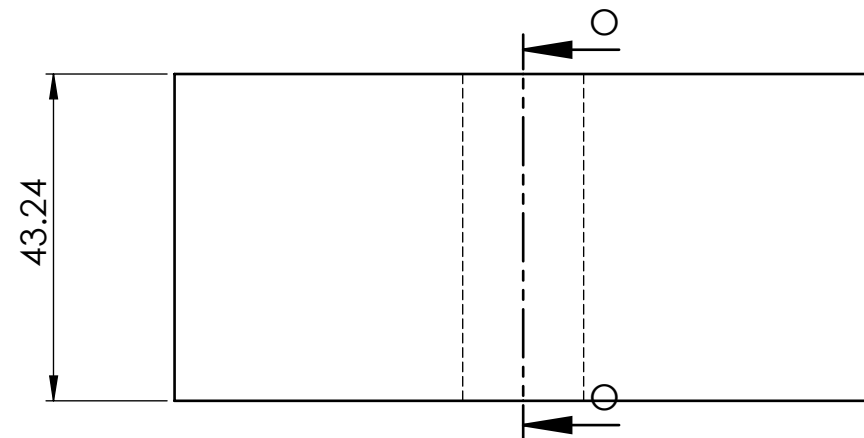
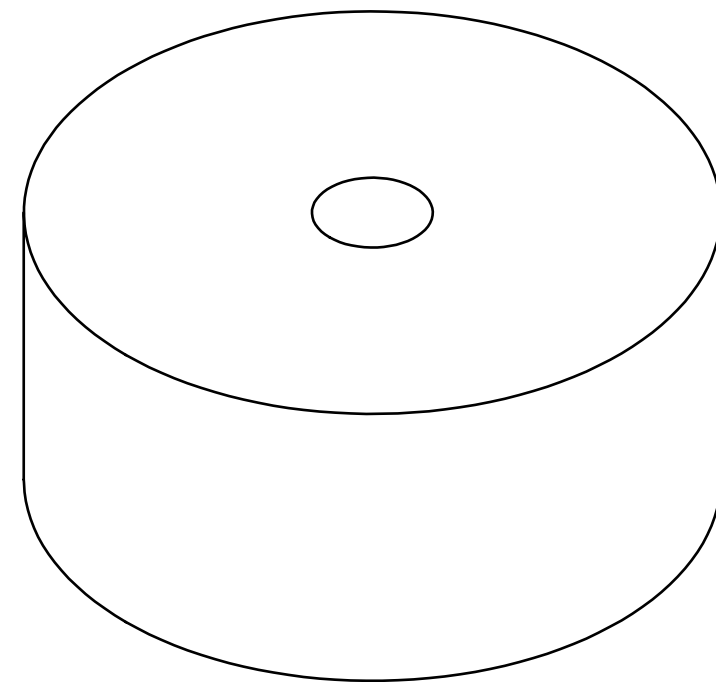
				Acabado Superficial: Mecanizado N6	PESO: 0.067 Kg	MATERIAL: Polietileno de alta densidad	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°			
					FECHA	Nombre	ESCALA:1:2
				Dib.		Cardenas, Freyner	A4
				Rev.			
				Apro.			
						N.º DE DIBUJO Tapa	
						CR-SC-T 4-11	Dimensiones : mm



					Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:			
					TOLERANCIAS:	0.032 Kg	Fibra de Vidrio Orgánica			
					LINEAL: +/- 0.002					
					ANGULAR: +/- 0.1°					
						FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:1	
					Dib.		Cardenas, Freyner		Equipo Conducción Radial	A4
					Rev.					
					Apro.					
							N.º DE DIBUJO			
					UNIVERSIDAD LIBRE <small>LIBRE PARA FORMAR, LIBRE PARA CREAR</small>		Aislante Probeta			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					CR-SC-AP 5-11	Dimensiones : mm	

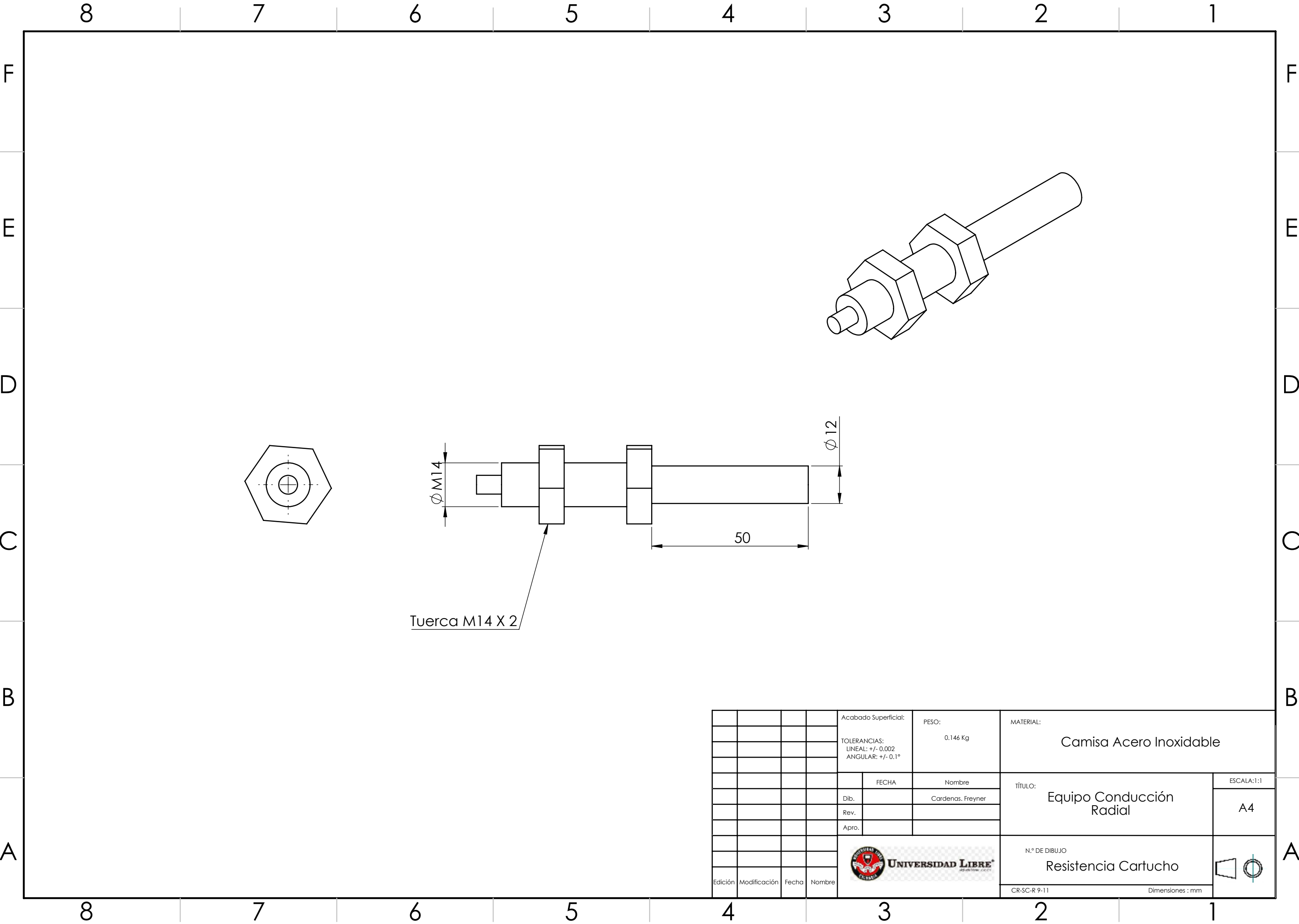


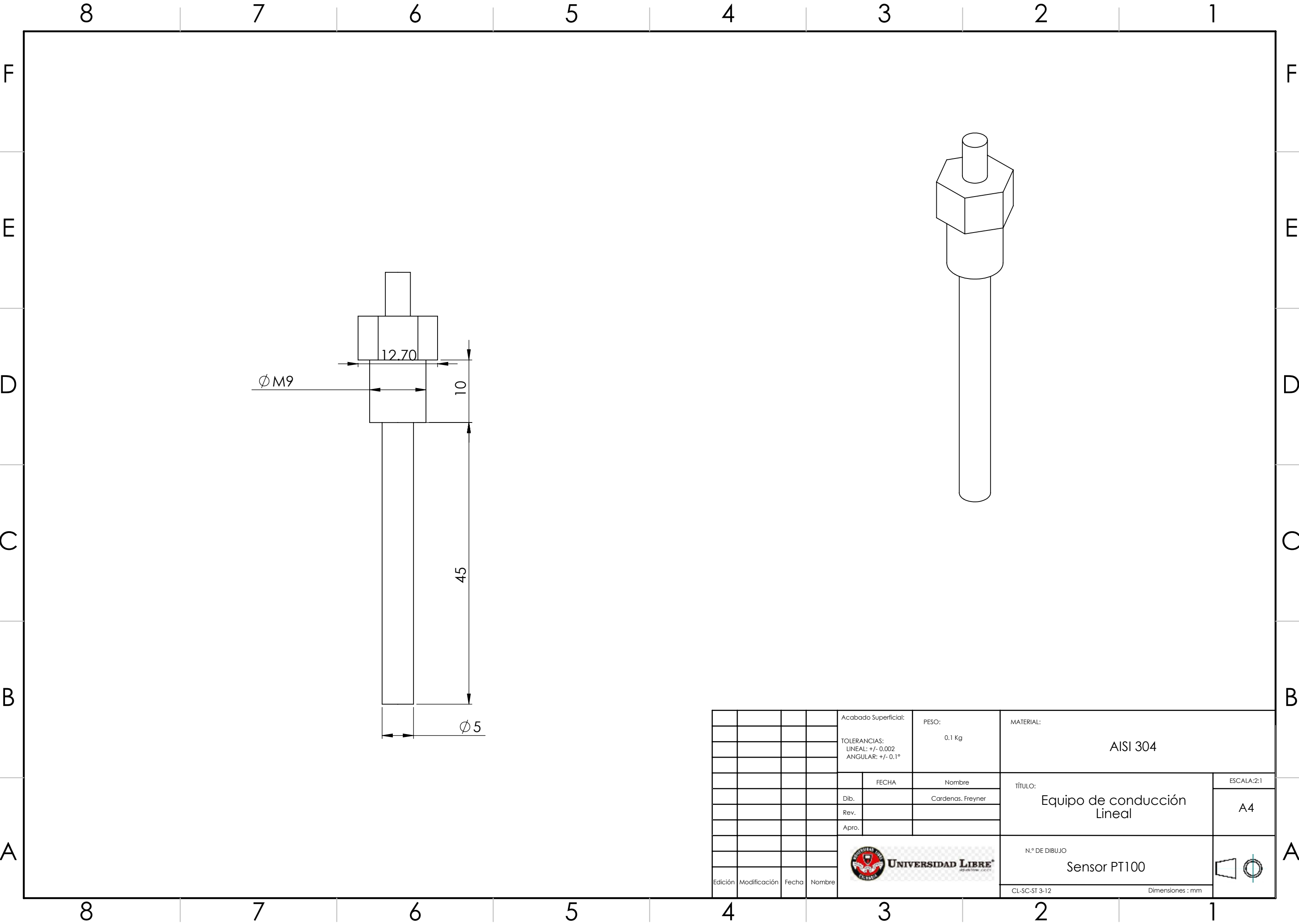




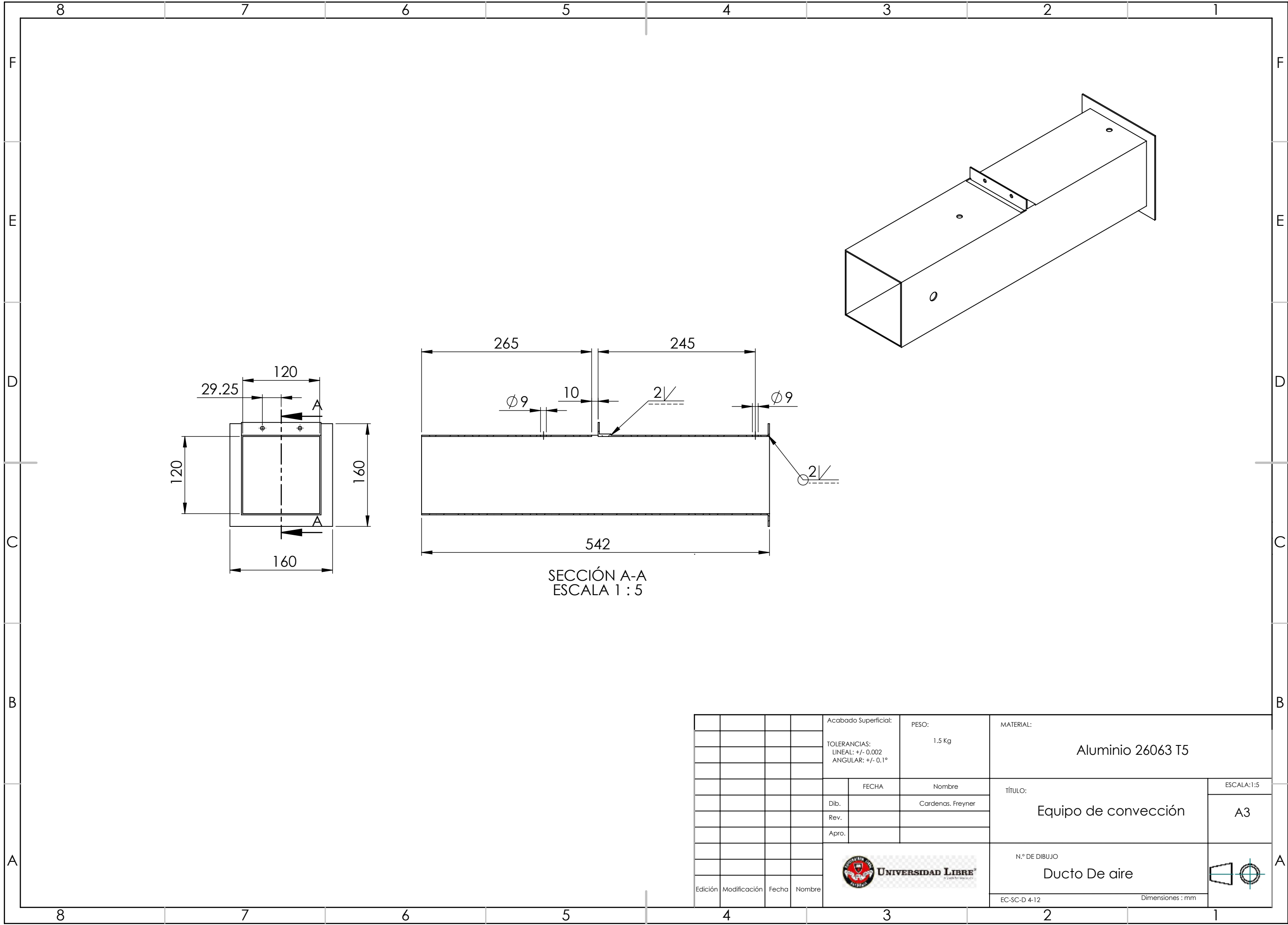
SECCIÓN O-O

				Acabado Superficial: TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	PESO: 0.028 Kg	MATERIAL: Fibra de Vidrio		
					FECHA	Nombre	TÍTULO: Equipo Conducción Radial	ESCALA:1:1
			Dib.		Cardenas, Freyner			A4
			Rev.					
			Apro.					
				 UNIVERSIDAD LIBRE® <small>libre para pensar... vivir bien</small>		N.º DE DIBUJO Aislante Probeta		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					
						CR-SC-AR 8-11	Dimensiones : mm	



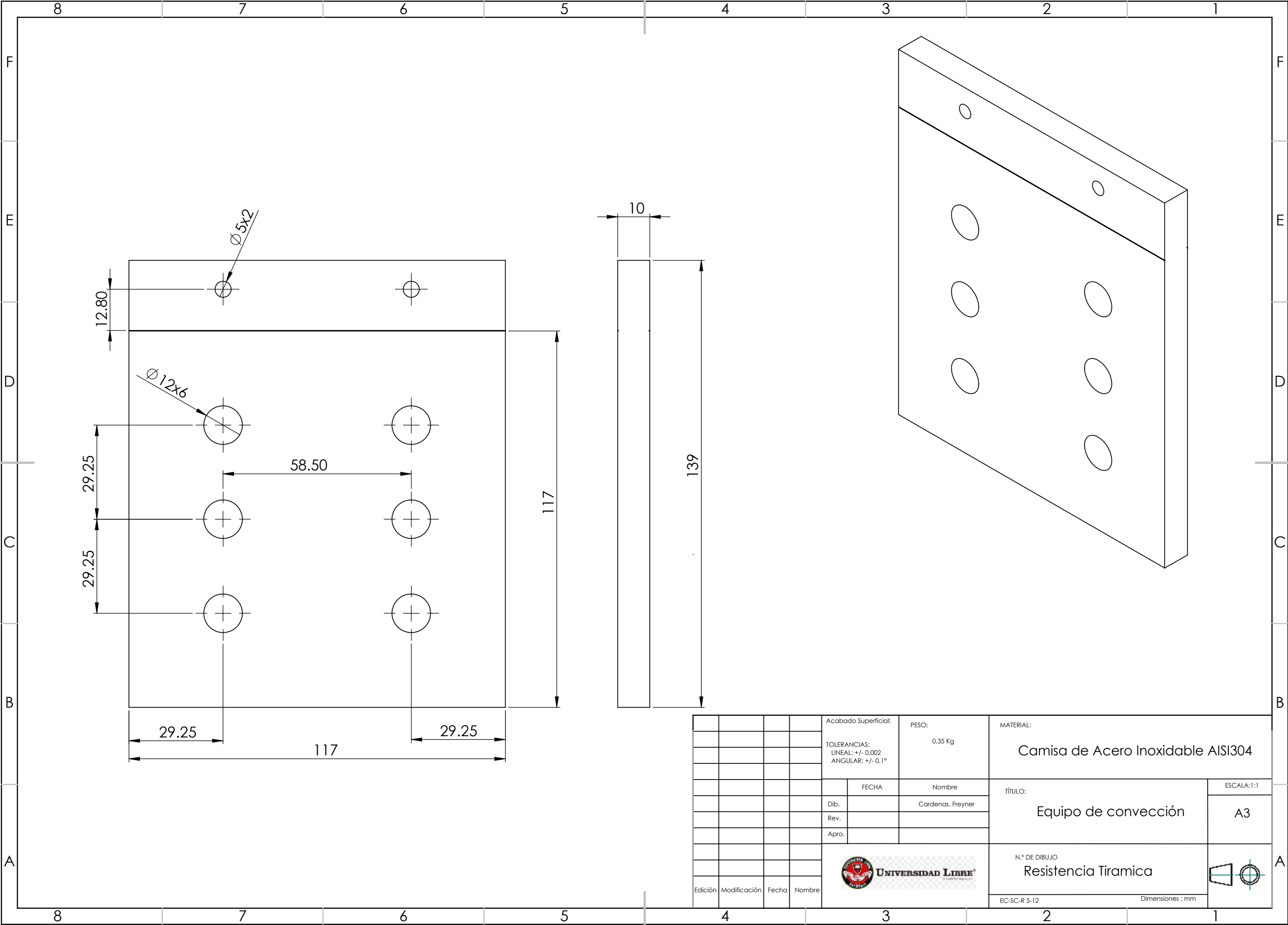


				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:		
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.1 Kg	AISI 304		
					FECHA	Nombre	TÍTULO: Equipo de conducción Lineal	ESCALA:2:1
				Dib.		Cardenas, Freyner		A4
				Rev.				
				Apro.				
				 UNIVERSIDAD LIBRE <small>libre edu liber. co</small>			N.º DE DIBUJO	
							Sensor PT100	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				CL-SC-ST 3-12	Dimensiones : mm

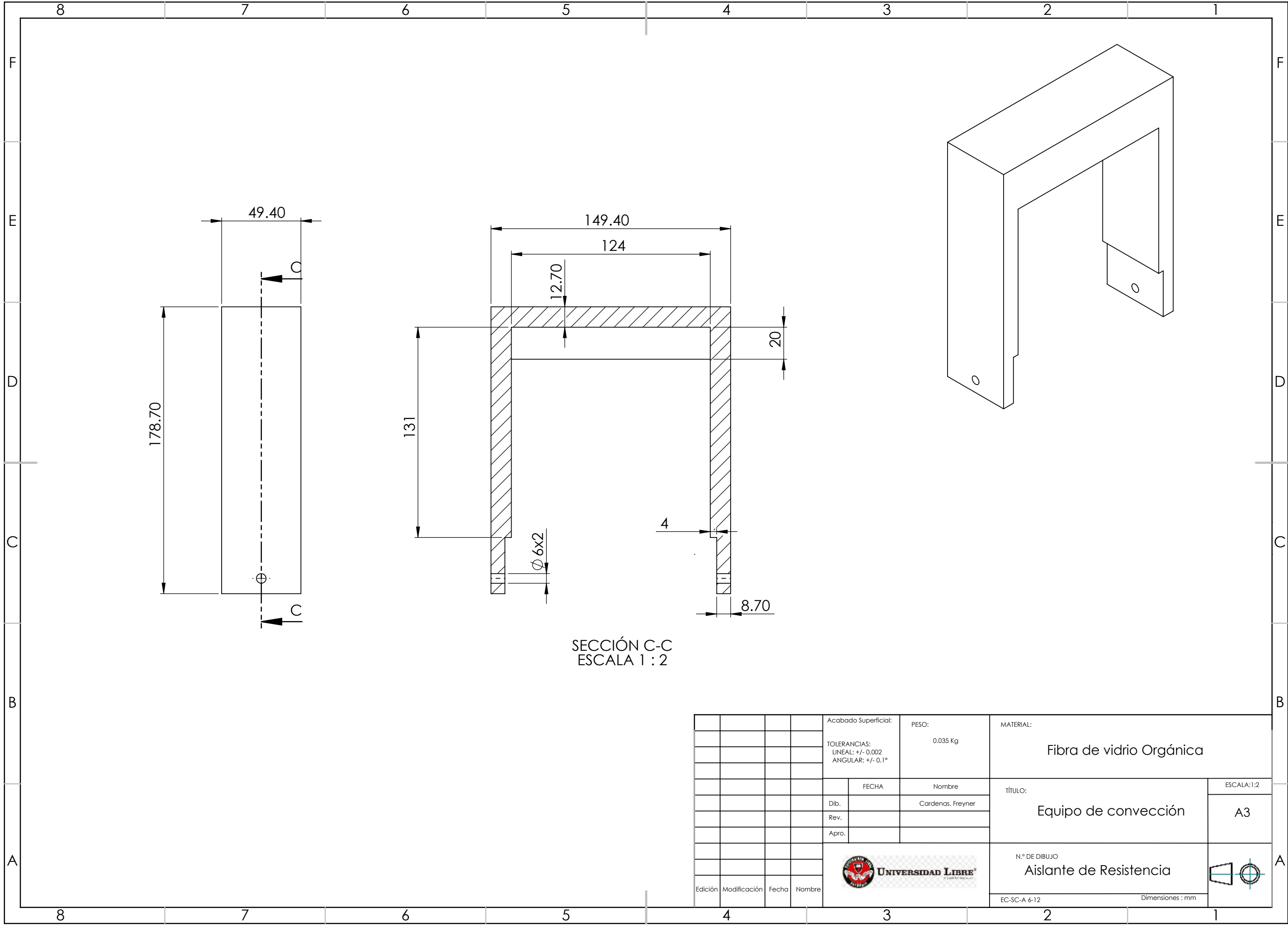


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

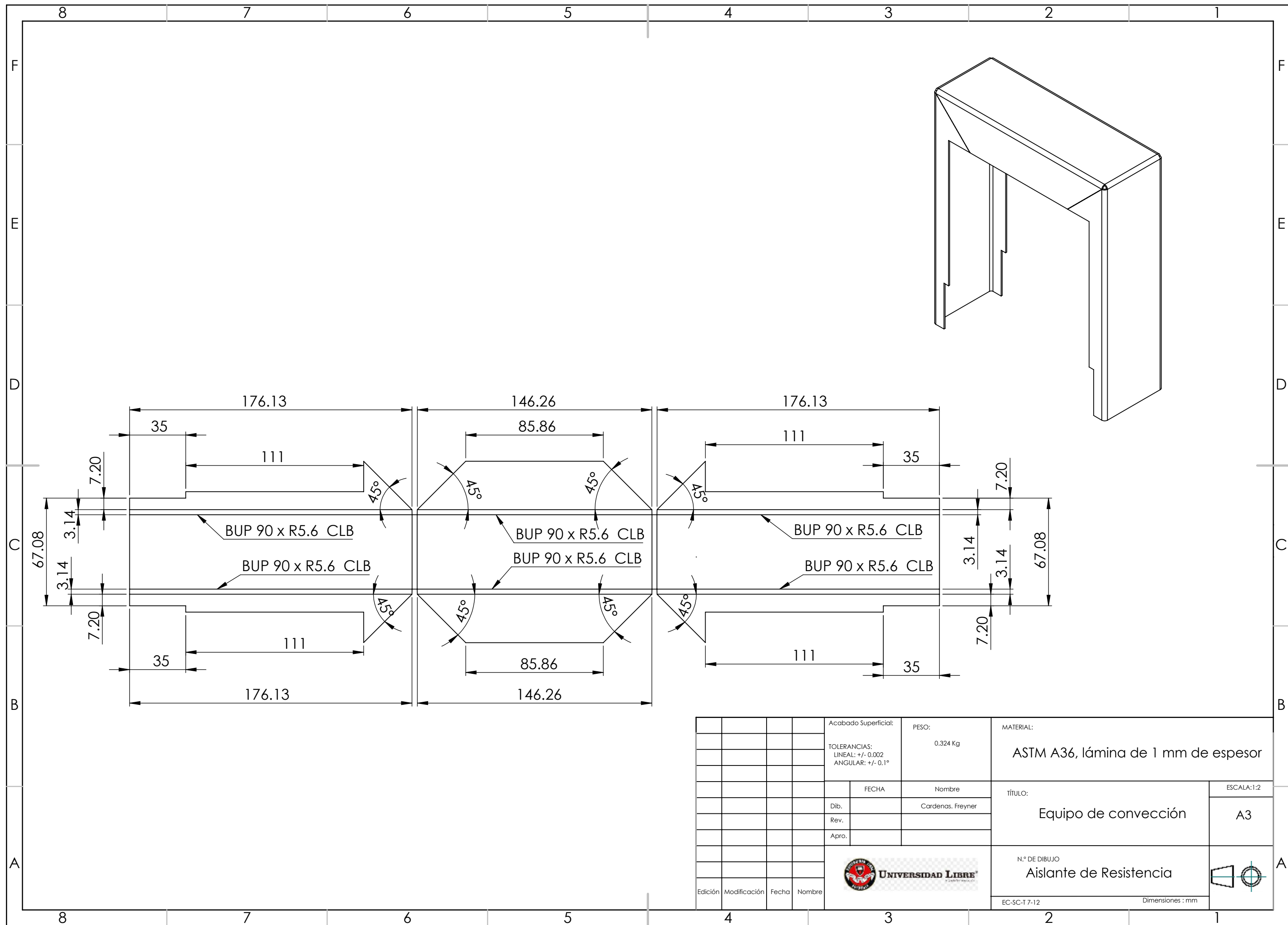
				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	1.5 Kg	Aluminio 26063 T5	

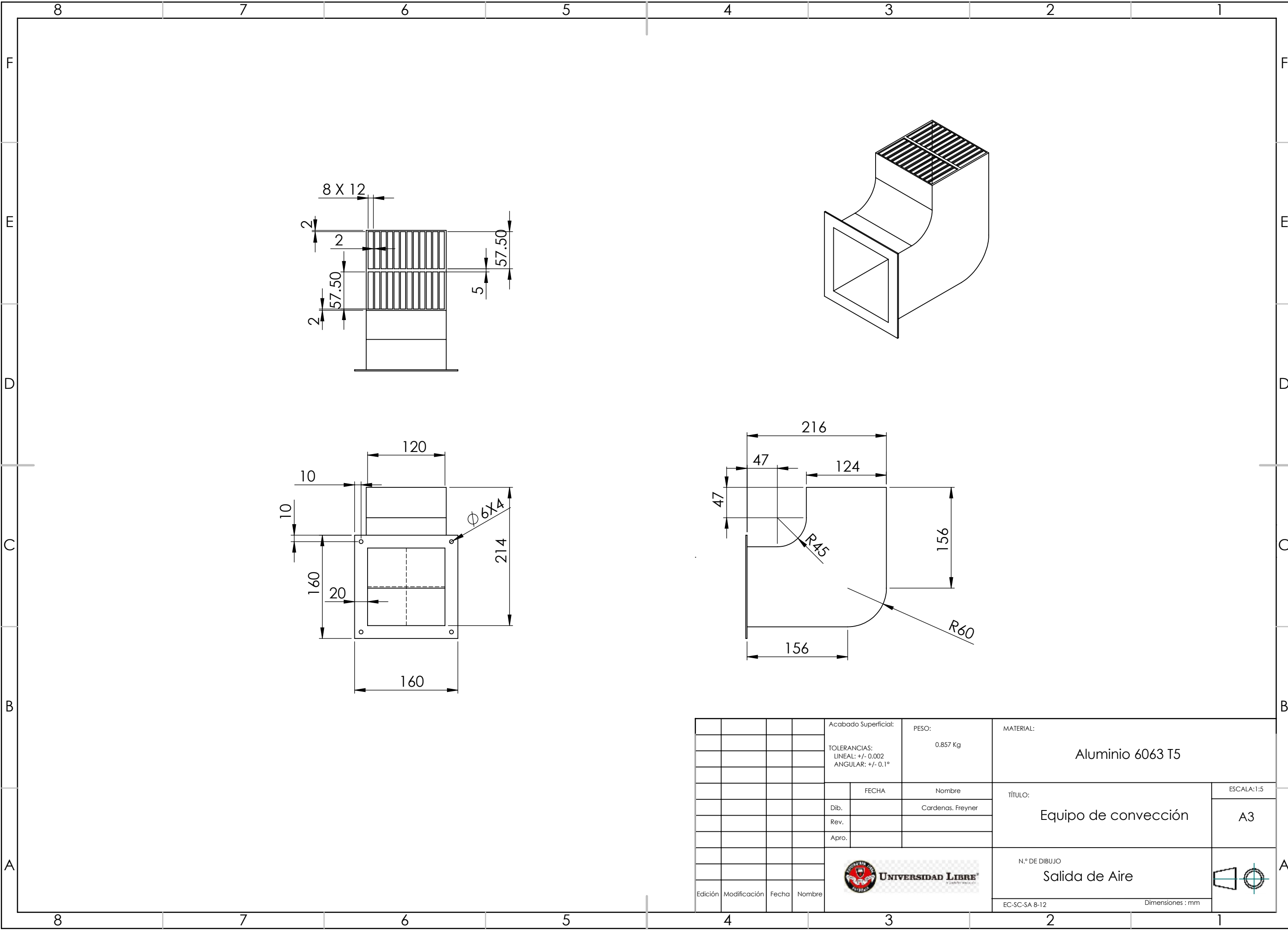


					Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:
					TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.35 Kg	Camisa de Acero Inoxidable AISI304

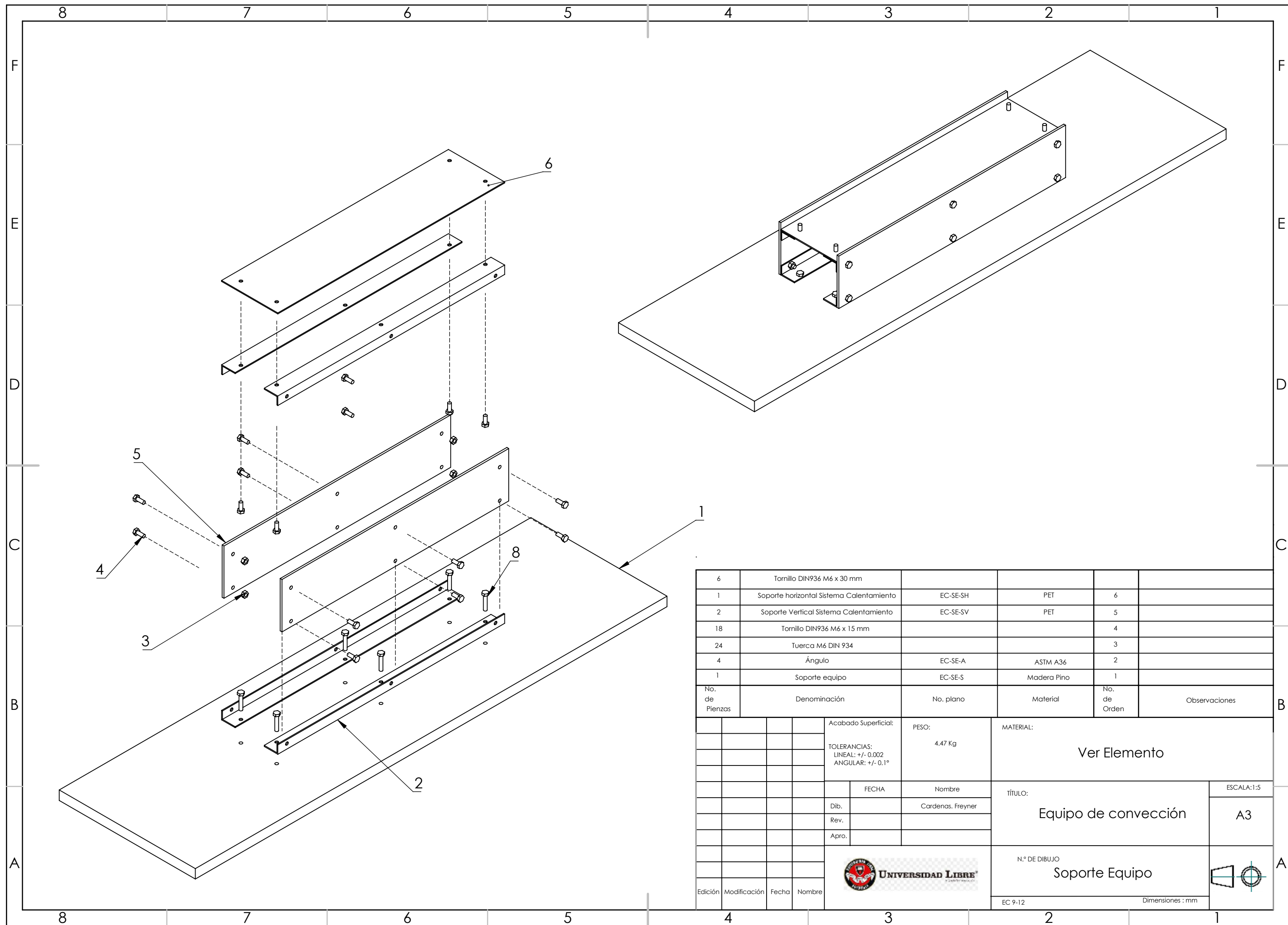


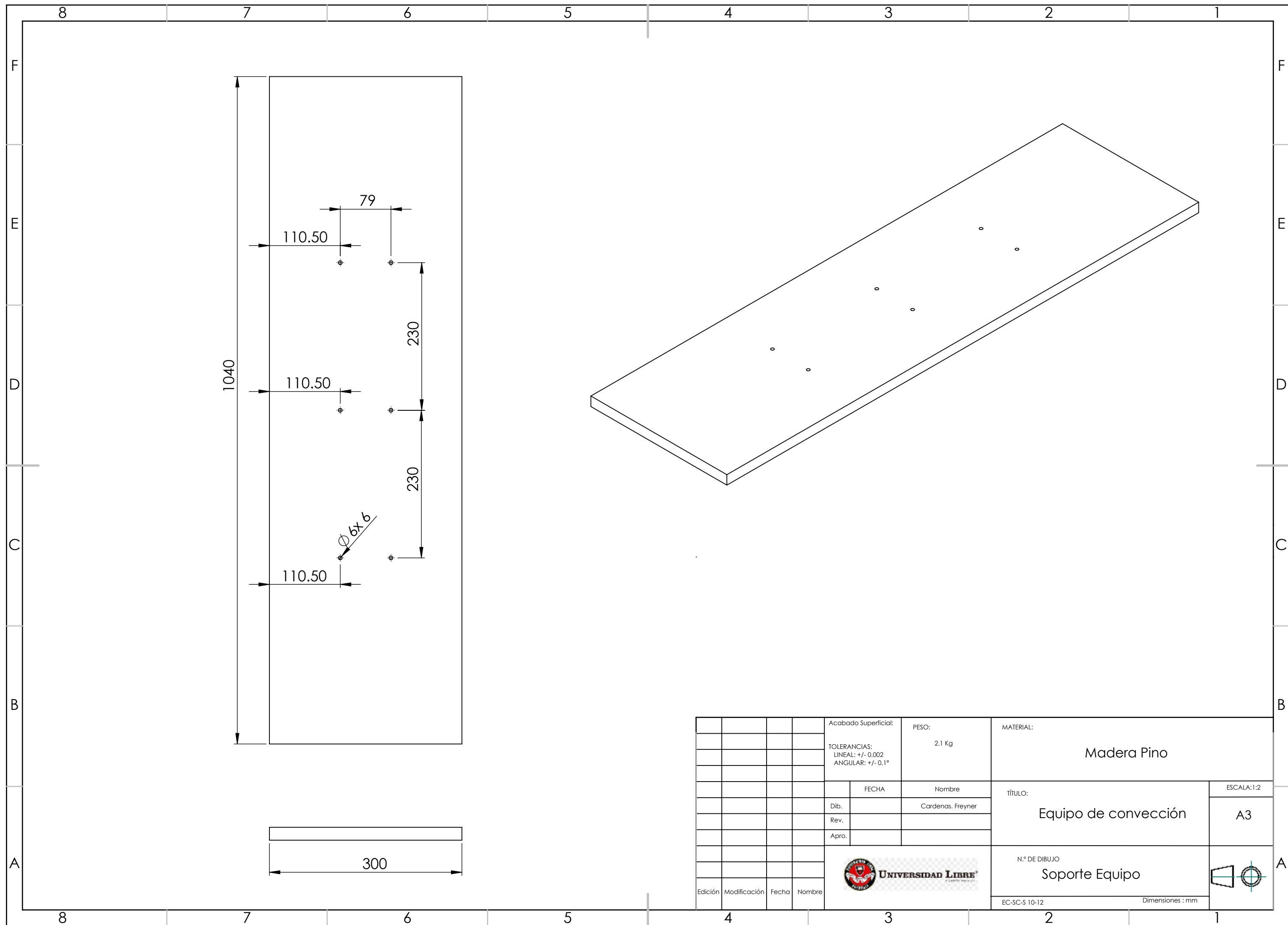
					Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:
					TOLERANCIAS:	0.035 Kg	Fibra de vidrio Orgánica
					LINEAL: +/- 0.002		
					ANGULAR: +/- 0.1º		
					FECHA	Nombre	TÍTULO:
				Dib.		Cardenas, Freyner	
				Rev.			
				Apro.			
					 UNIVERSIDAD LIBRE		N.º DE DIBUJO
							Aislante de Resistencia
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				EC-SC-A 6-12
							Dimensiones : mm

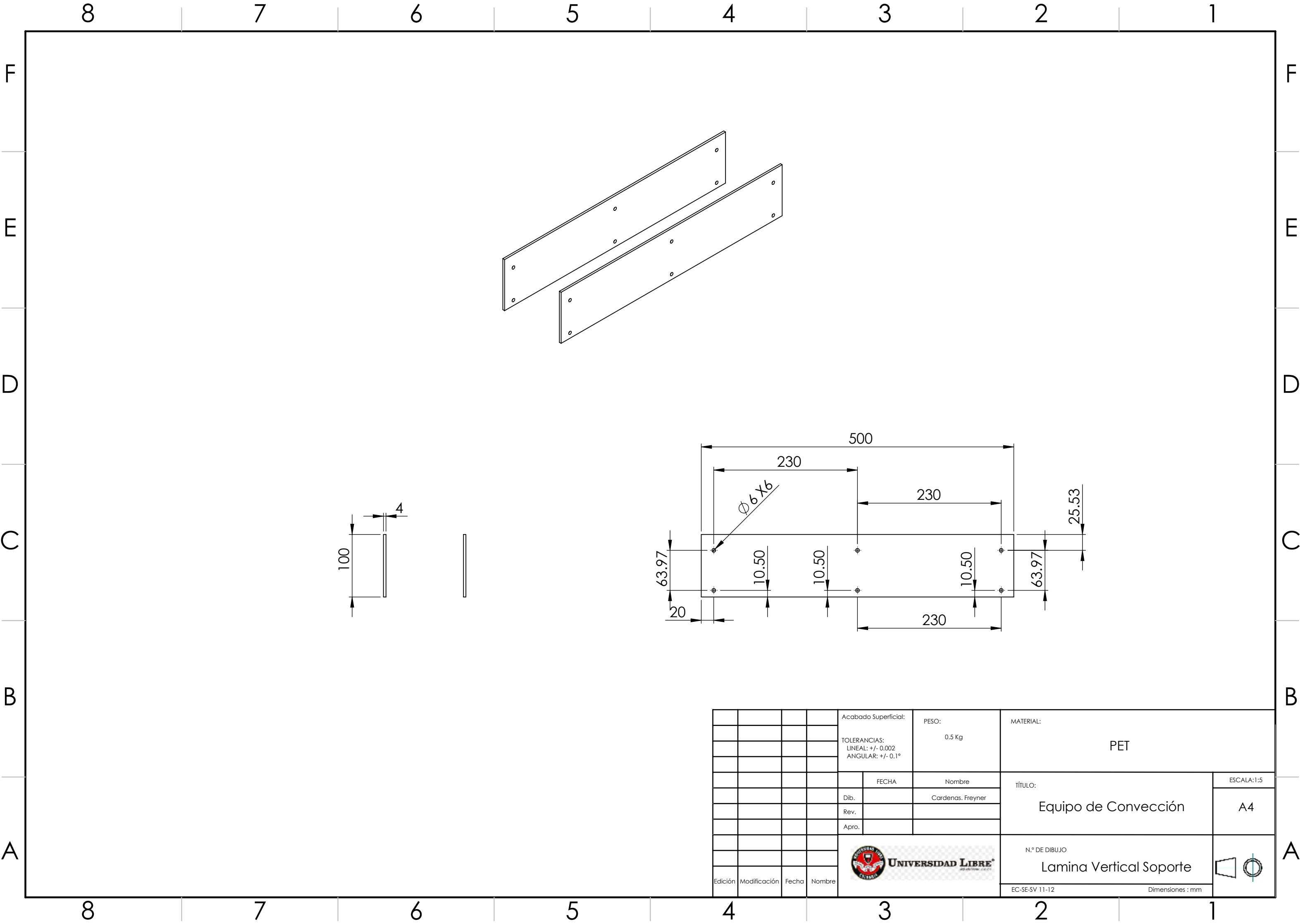




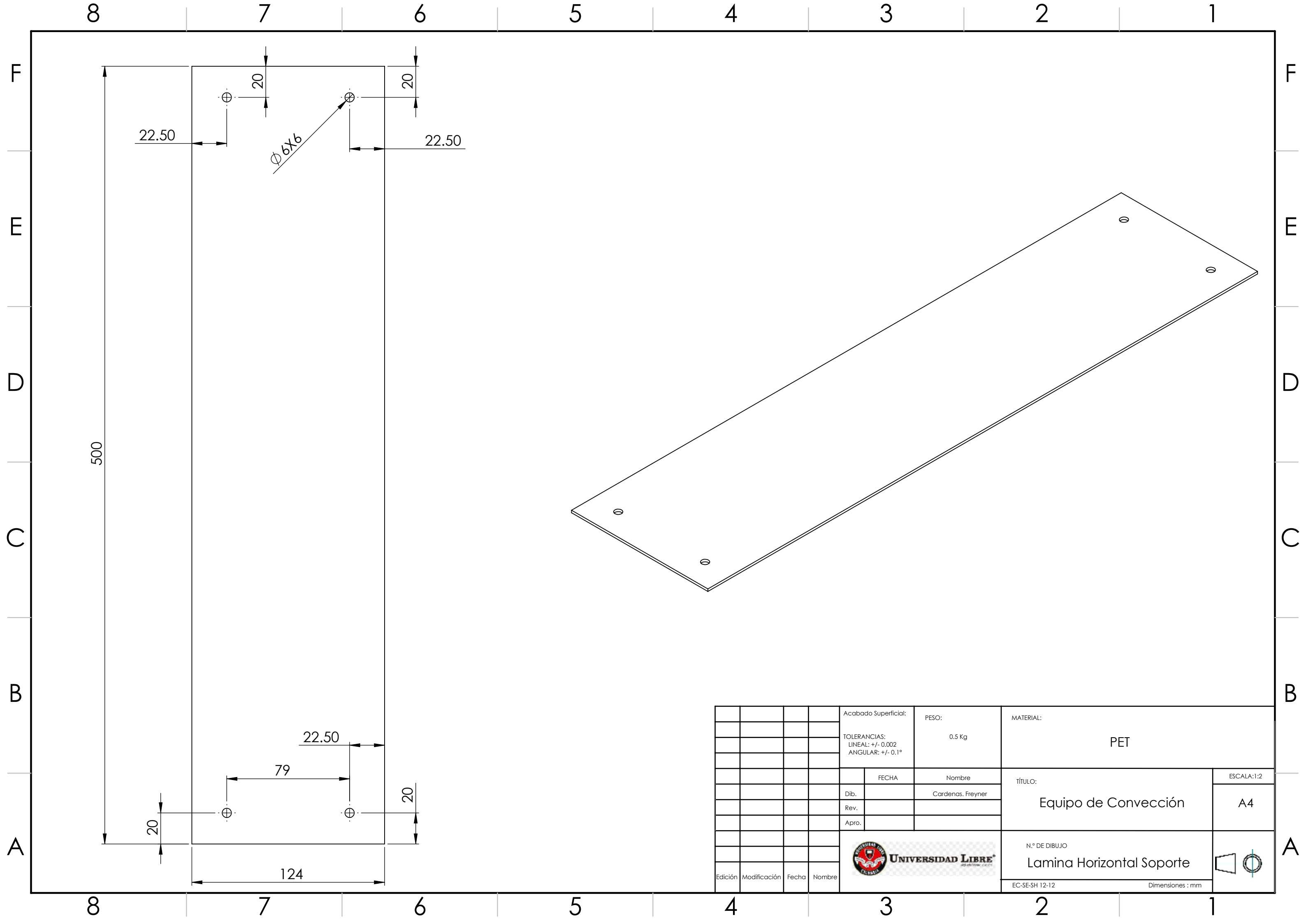
				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.857 Kg	Aluminio 6063 T5	
					FECHA	Nombre	ESCALA: 1:5
				Dib.		Cardenas, Freyner	Equipo de convección
				Rev.			
				Apro.			
						N.º DE DIBUJO	A3
						Salida de Aire	
						EC-SC-SA 8-12	
						Dimensiones : mm	



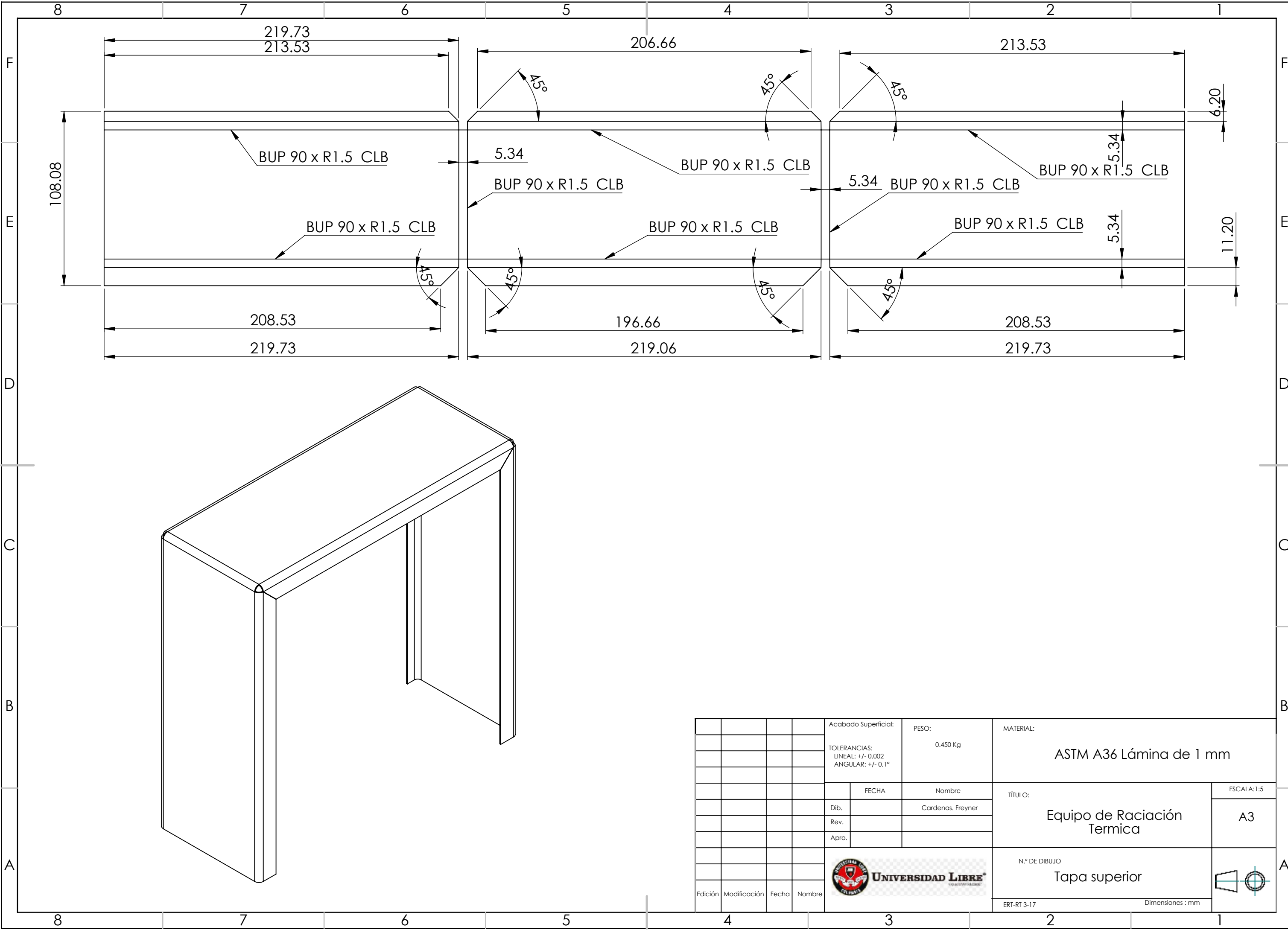




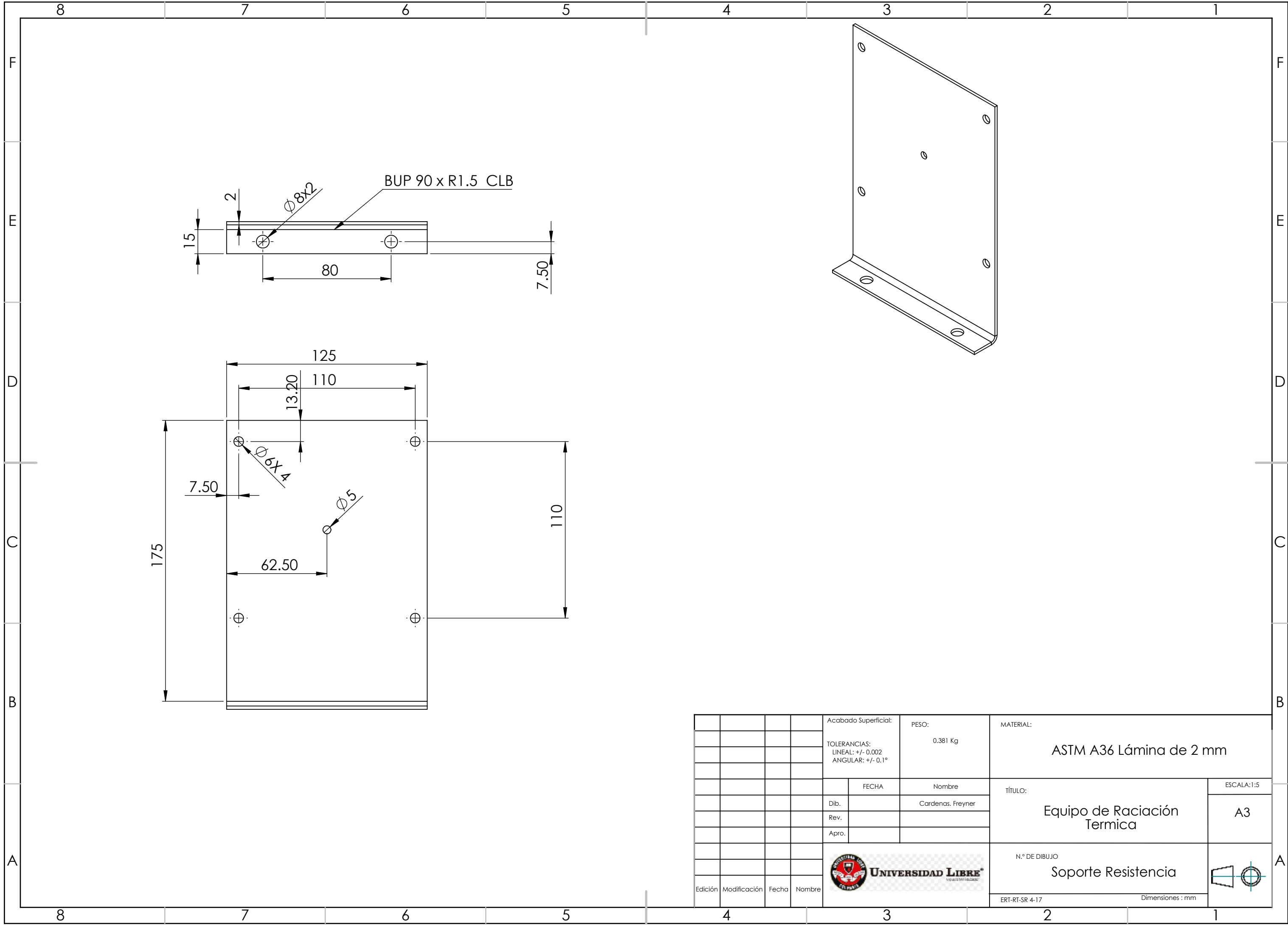
				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:		
				TOLERANCIAS:	0.5 Kg	PET		
				LINEAL: +/- 0.002				
				ANGULAR: +/- 0.1°				
					FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:5
				Dib.		Cardenas, Freyner	Equipo de Convección	A4
				Rev.				
				Apro.				
							N.º DE DIBUJO	
							Lamina Vertical Soporte	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD LIBRE			EC-SE-SV 11-12	Dimensiones : mm

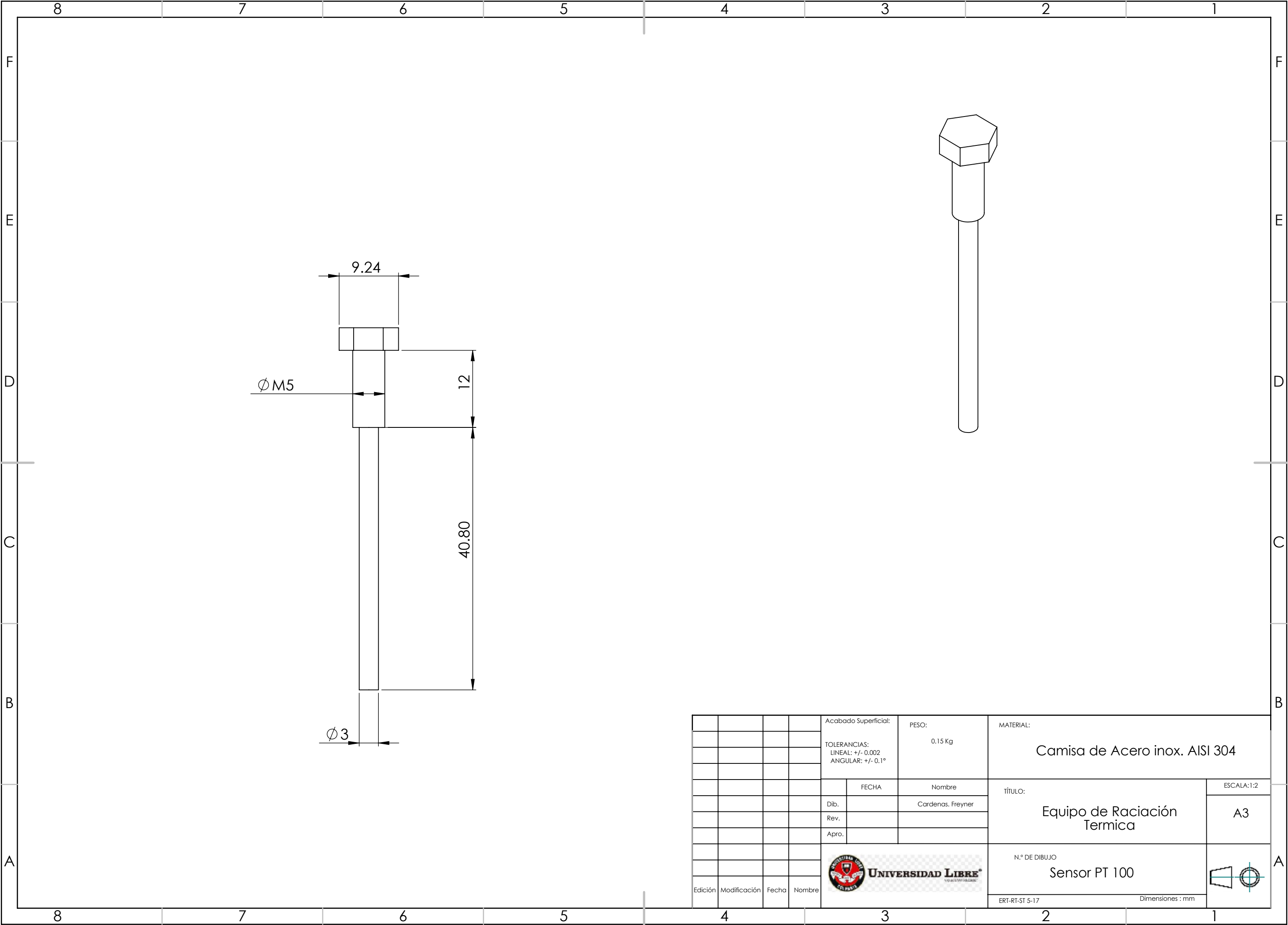


4				3				2				1			
F															
E															
D															
C															
B															
2		Perfil en ranura T 40x40 Longitud 126.8 mm						Aluminio							
1		Sistema de sujeción Probeta				ERT-SP				5					
1		Radiómetro 2000W/m2 max.								4					
1		Soporte Radiómetro				ERT-SR				3					
1		Perfil en ranura T 40 mm x 40 mm Longitud 600 mm						Aluminio		2					
1		Radiador Térmico				ERT-RT				1					
No. de Pienzas		Denominación				No. plano		Material		No. de Orden		Observaciones			
		Acabado Superficial:				PESO:		MATERIAL:							
		TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°				12.27 Kg		Ver Elemento							
		FECHA				Nombre		TÍTULO:				ESCALA:1:5			
		Dib.				Cardenas, Freyner		Equipo de Radiación Térmica				A4			
		Rev.													
		Apro.													
		Edición				Modificación		Fecha		Nombre		N.º DE DIBUJO			
								Componentes de Equipo							
		ERT 1-17				Dimensiones : mm									
4				3				2				1			
A															

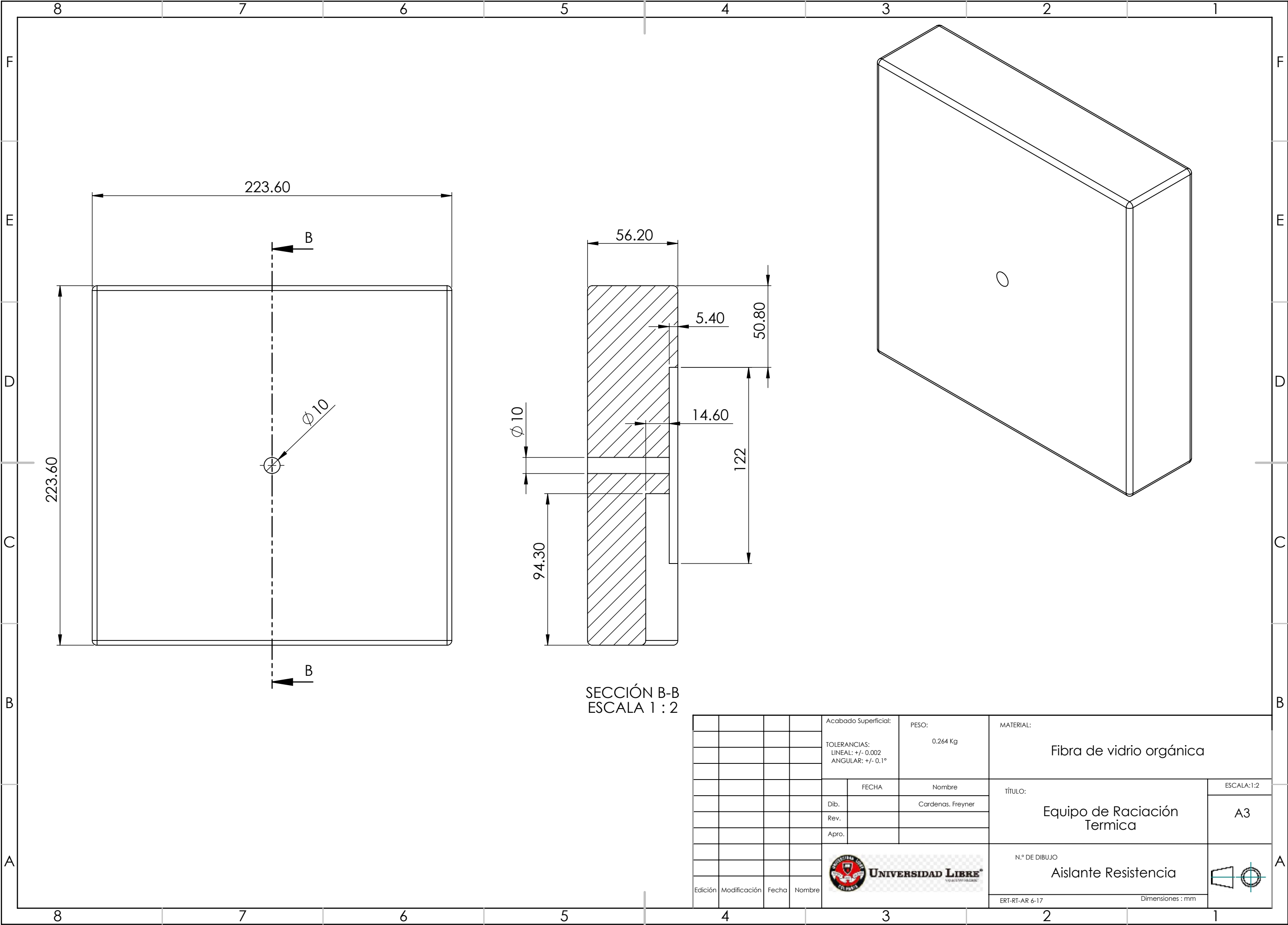


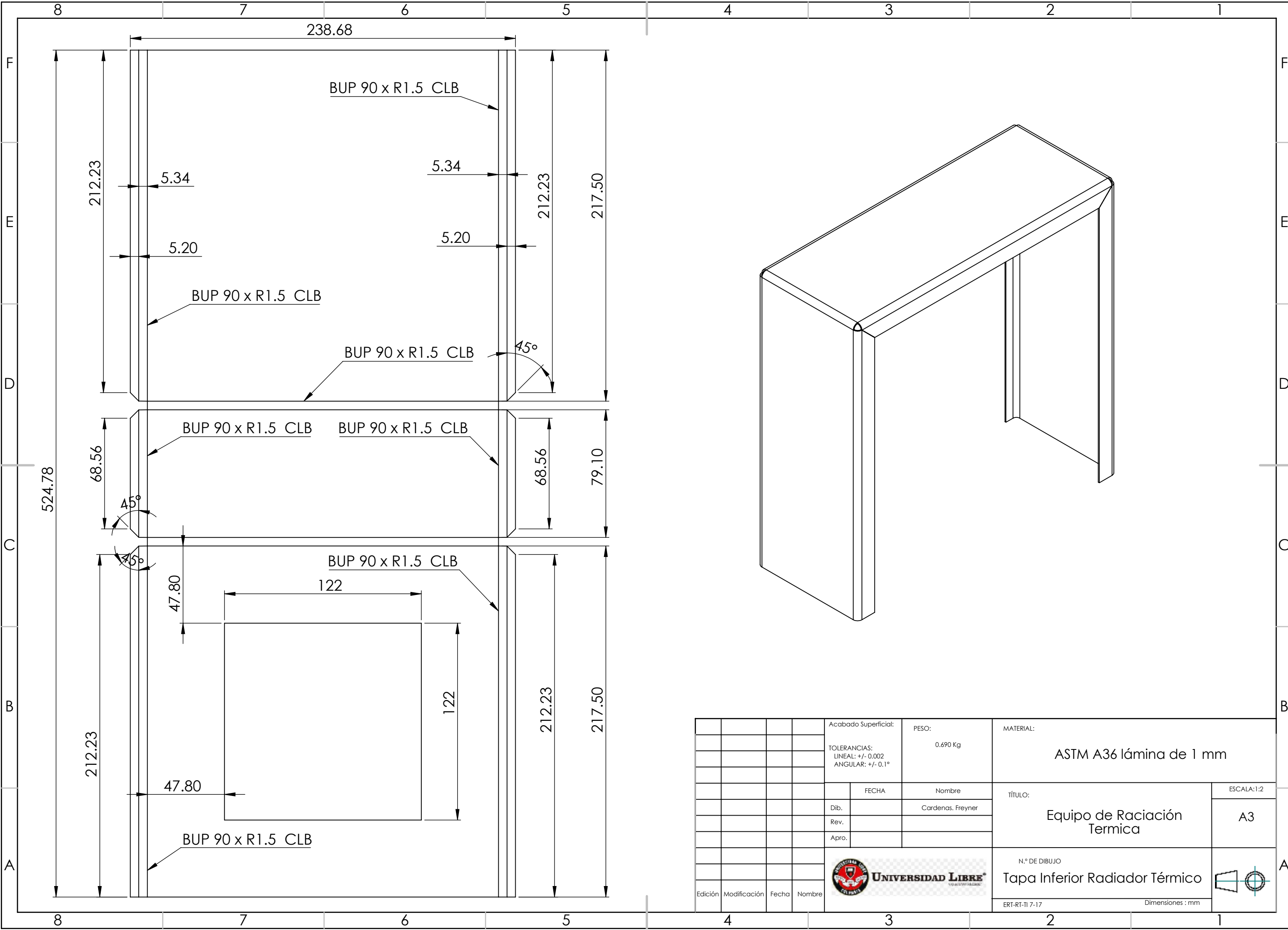
				Acabado Superficial: TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	PESO: 0.450 Kg	MATERIAL: ASTM A36 Lámina de 1 mm	
					Nombre	tÍTULO: Equipo de Raciación Termica	ESCALA:1:5
			Dib.	Cardenas. Freyner			A3
			Rev.				
			Apro.				
				 UNIVERSIDAD LIBRE <small>NO ASESORAMOS</small>		N.º DE DIBUJO Tapa superior	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
						ERT-RT 3-17	Dimensiones : mm

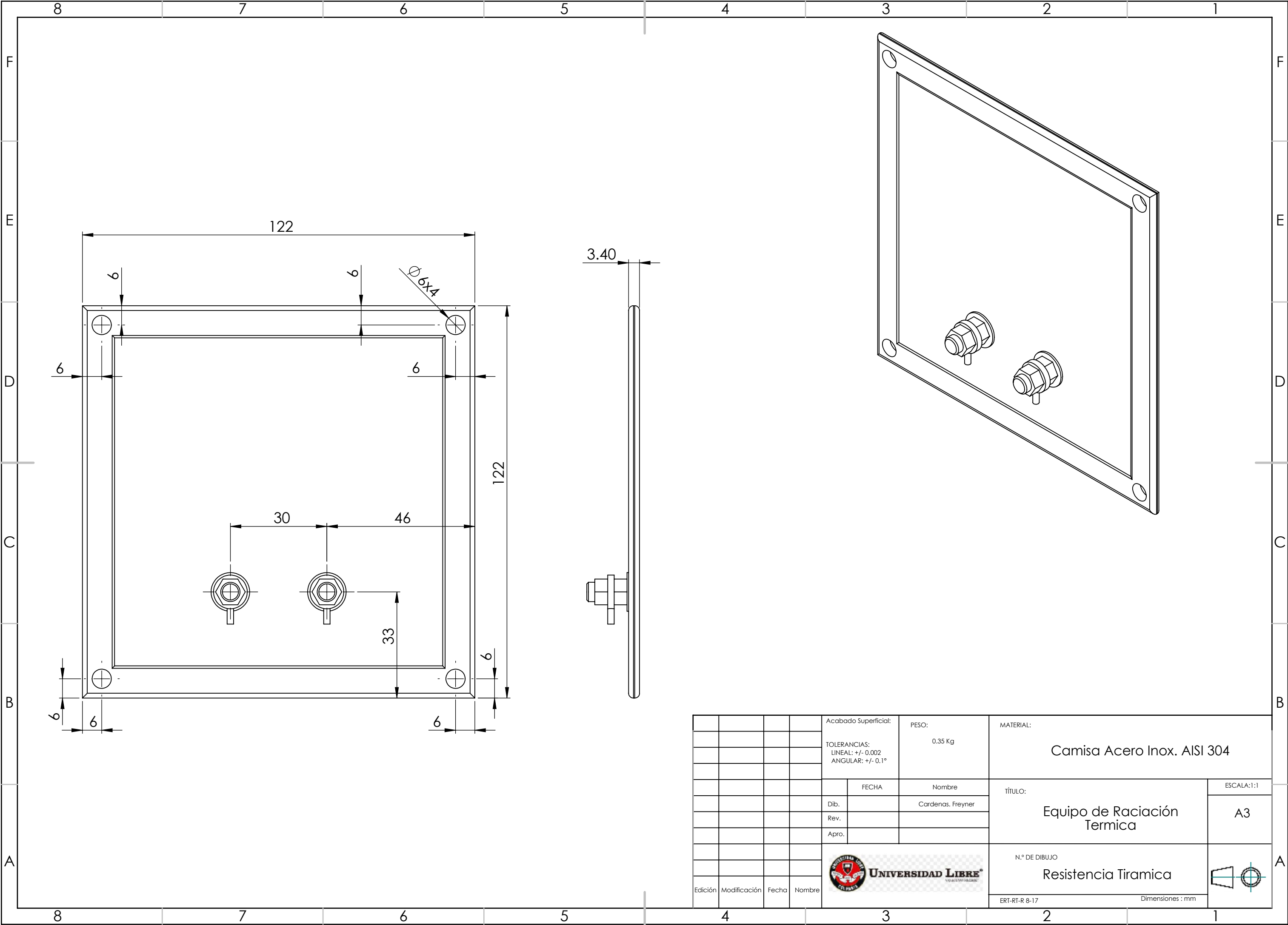


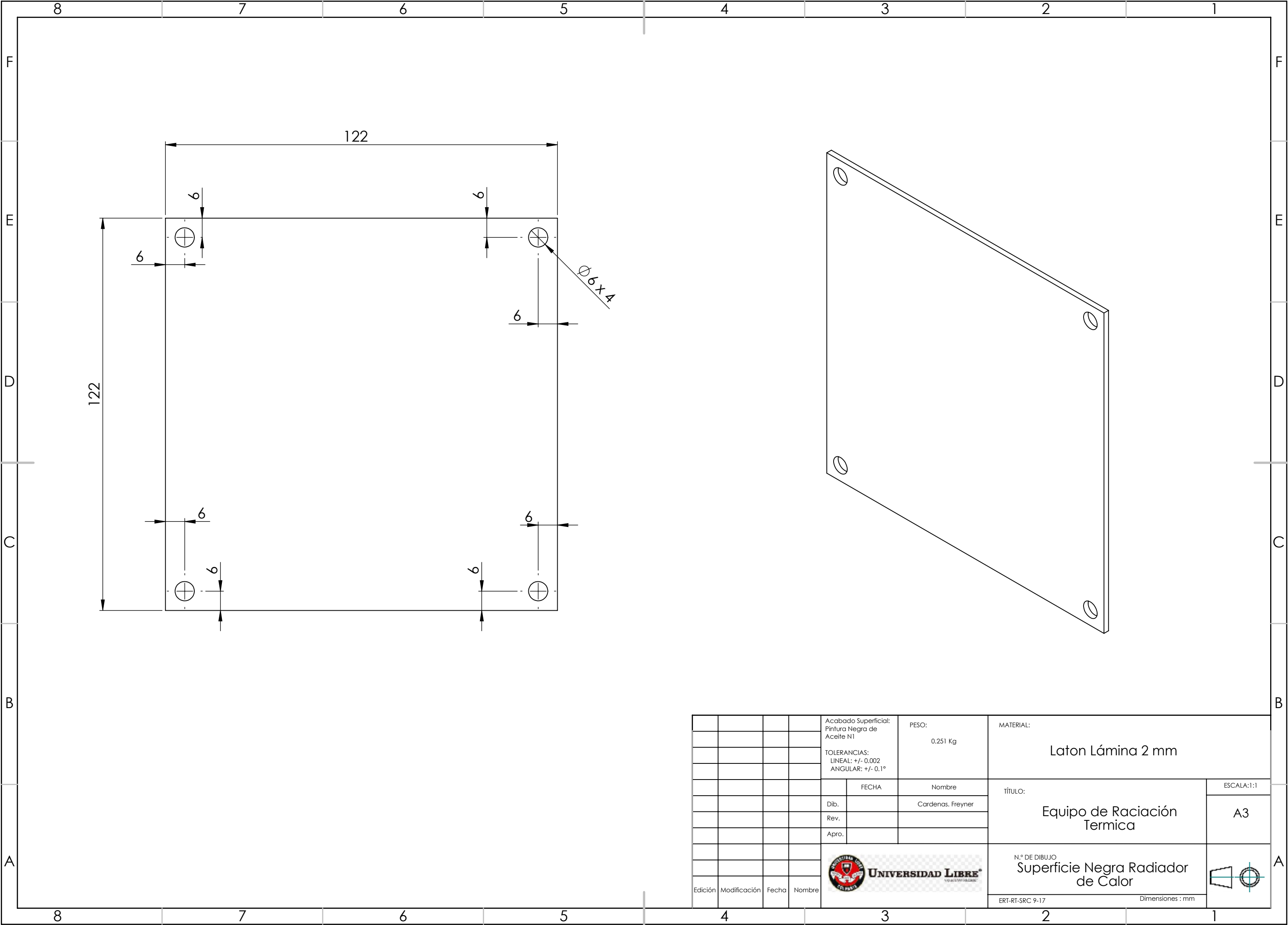


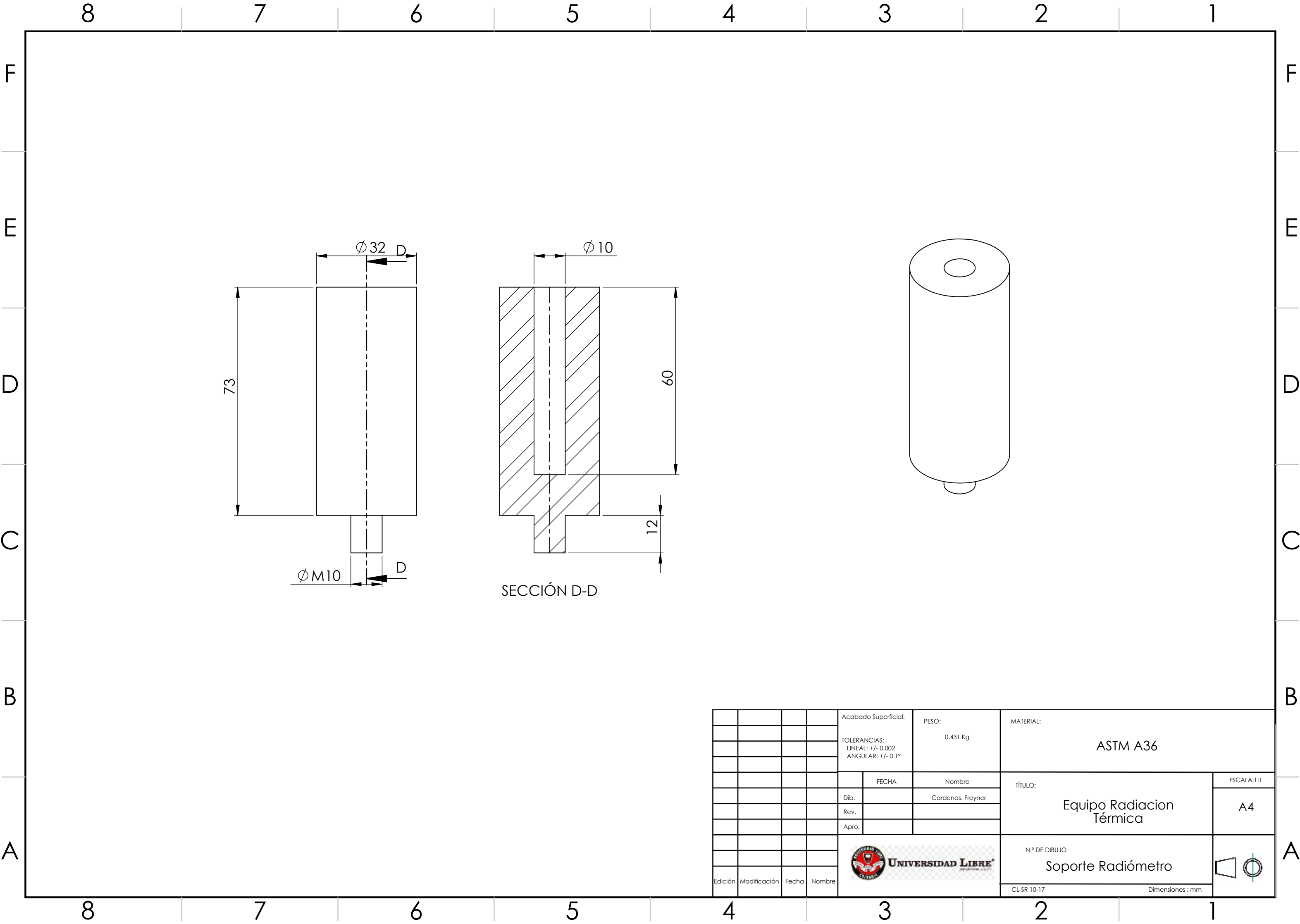
				Acabado Superficial:		PESO:		MATERIAL:			
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°		0.15 Kg		Camisa de Acero inox. AISI 304			
					FECHA	Nombre		TÍTULO: Equipo de Raciación Termica	ESCALA:1:2		
				Dib.		Cardenas. Freyner			A3		
				Rev.							
				Apro.							
										N.º DE DIBUJO Sensor PT 100	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre							ERT-RT-ST 5-17	Dimensiones : mm

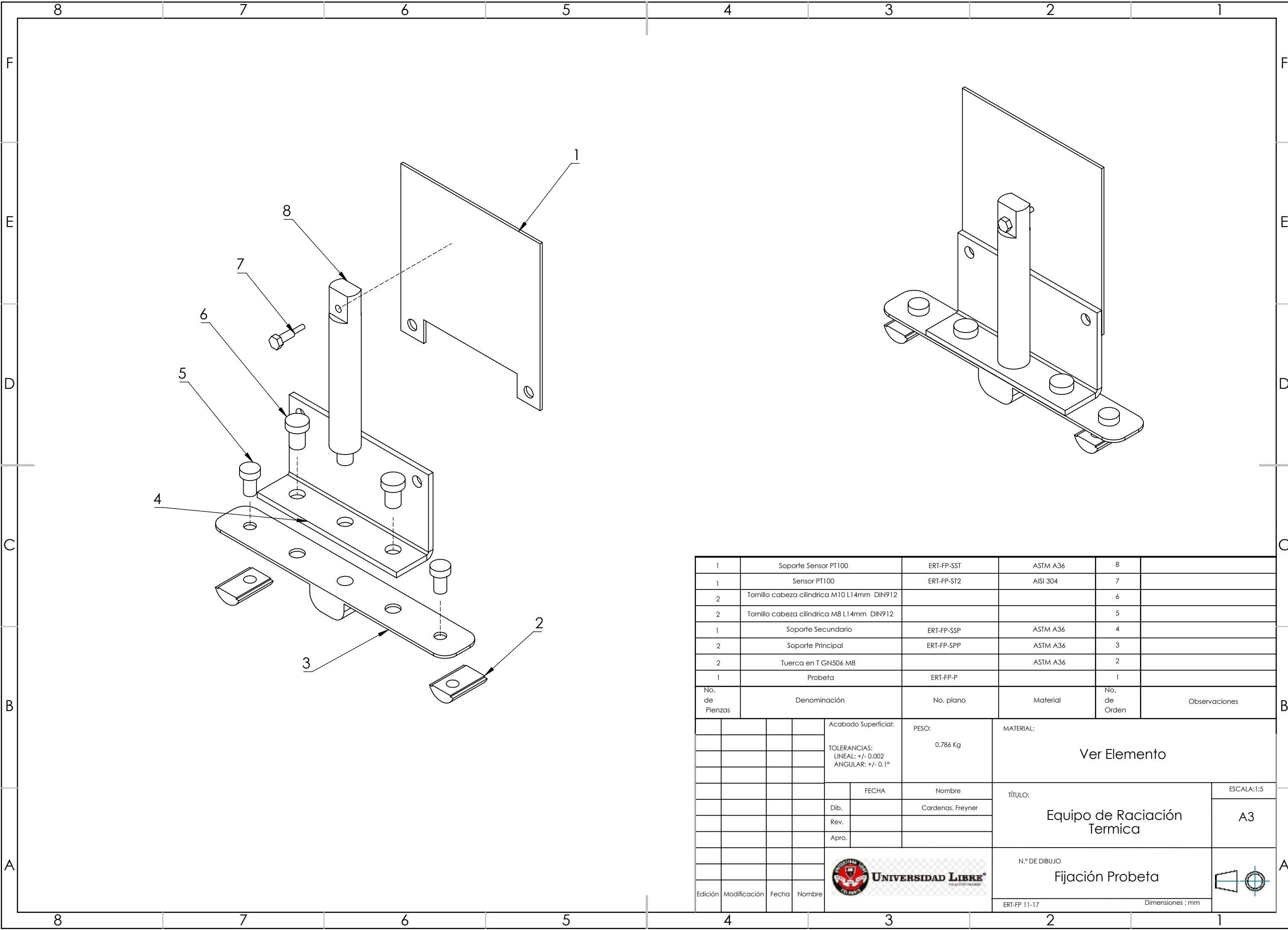




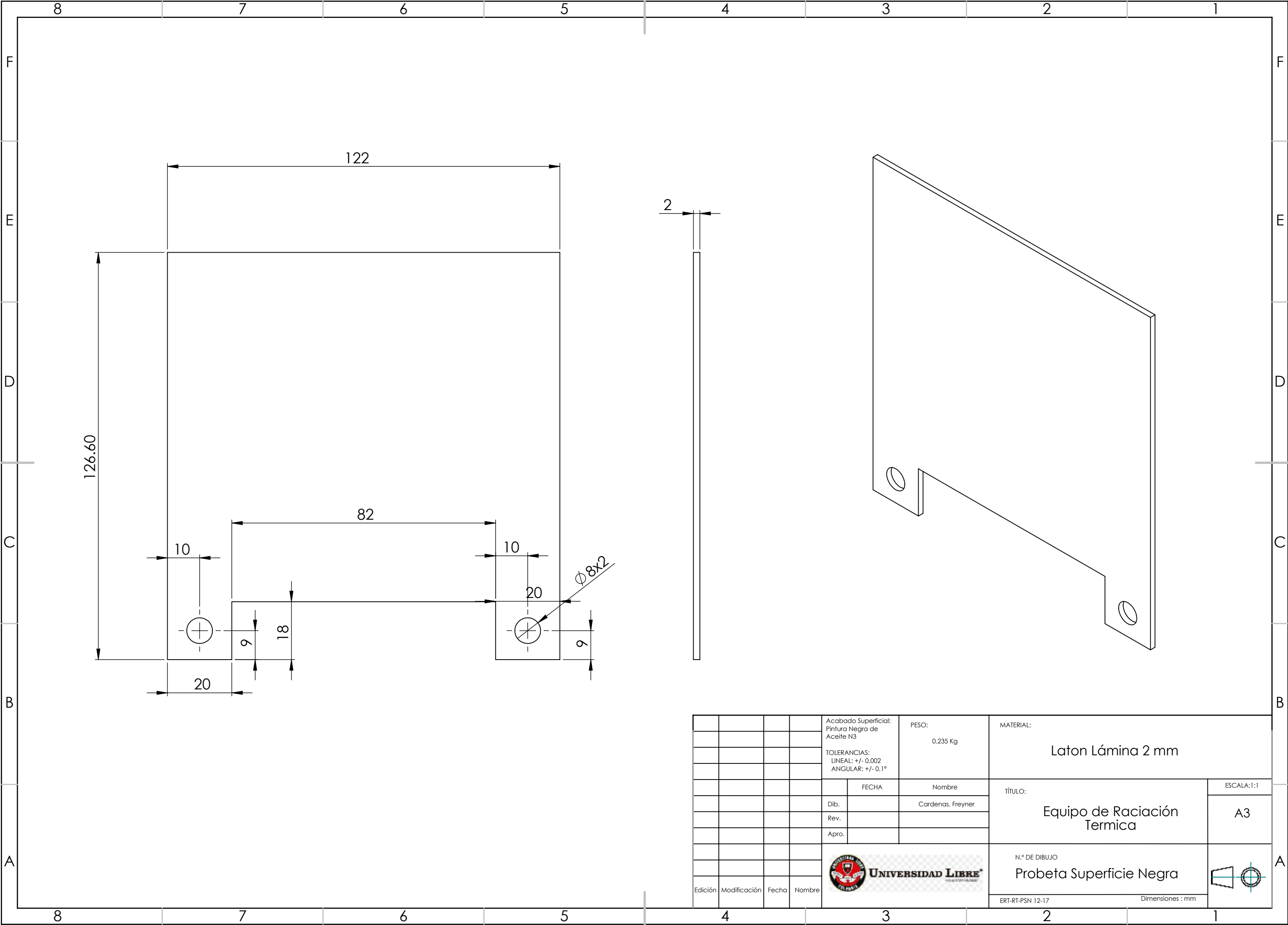


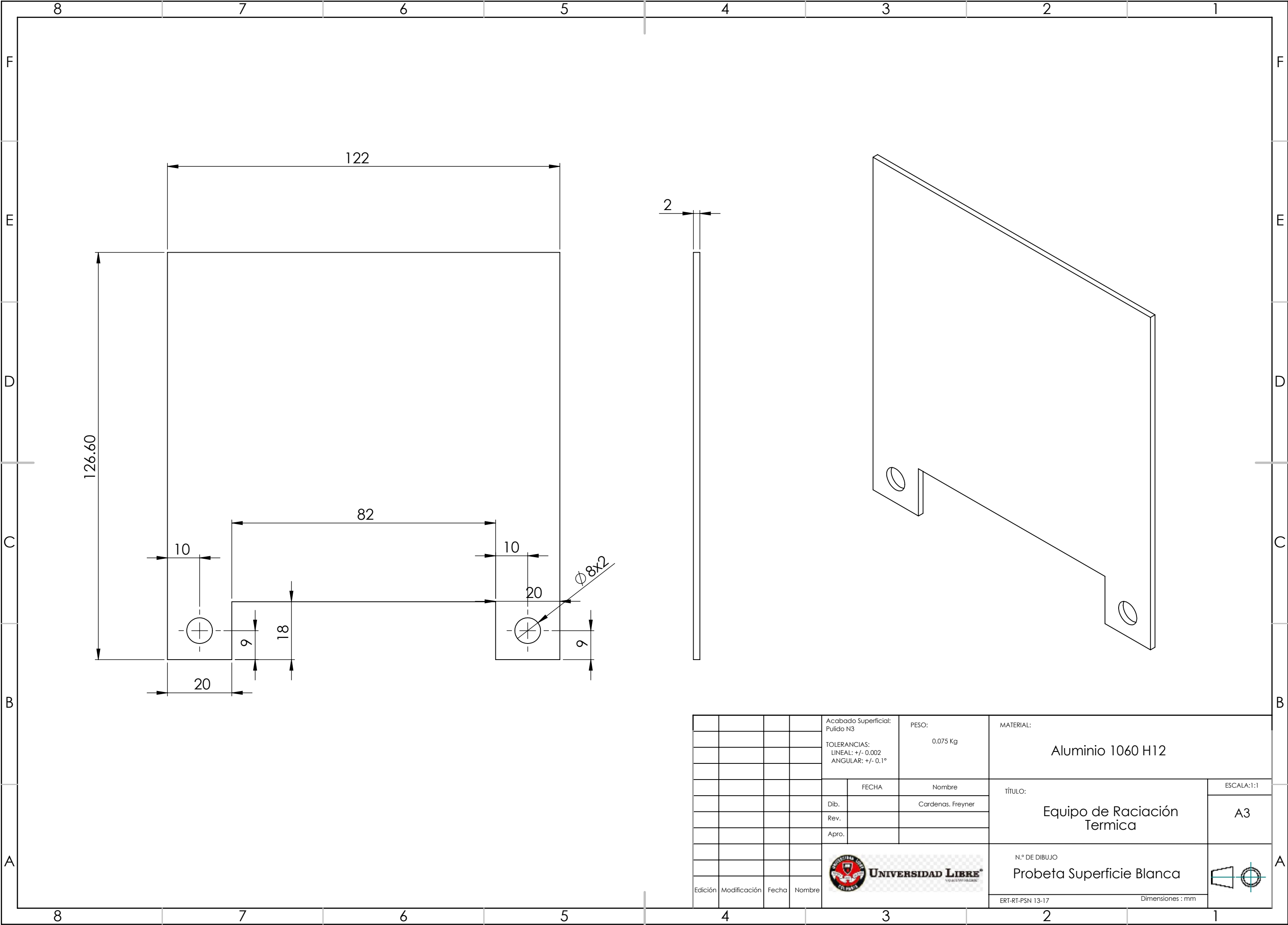


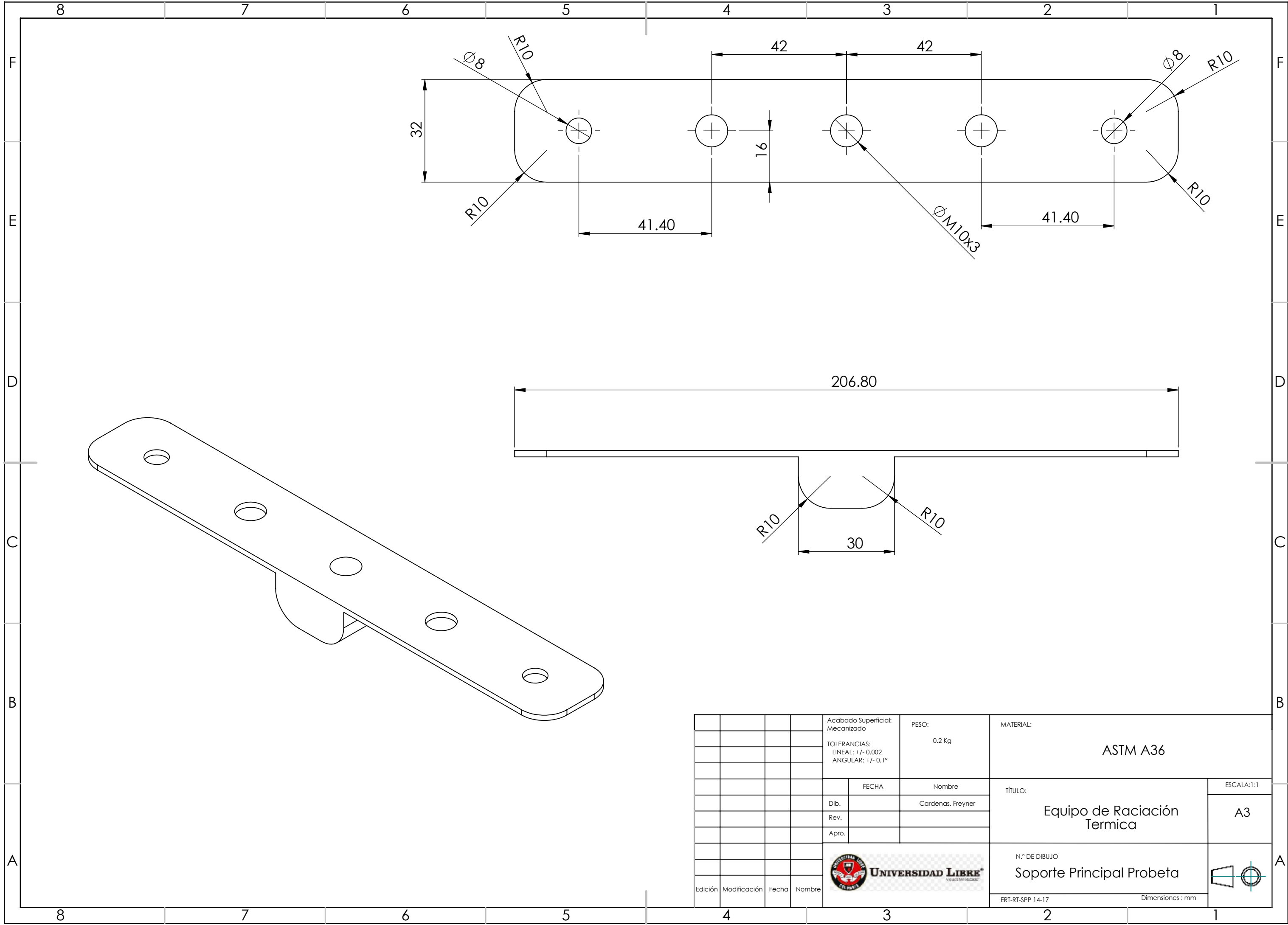




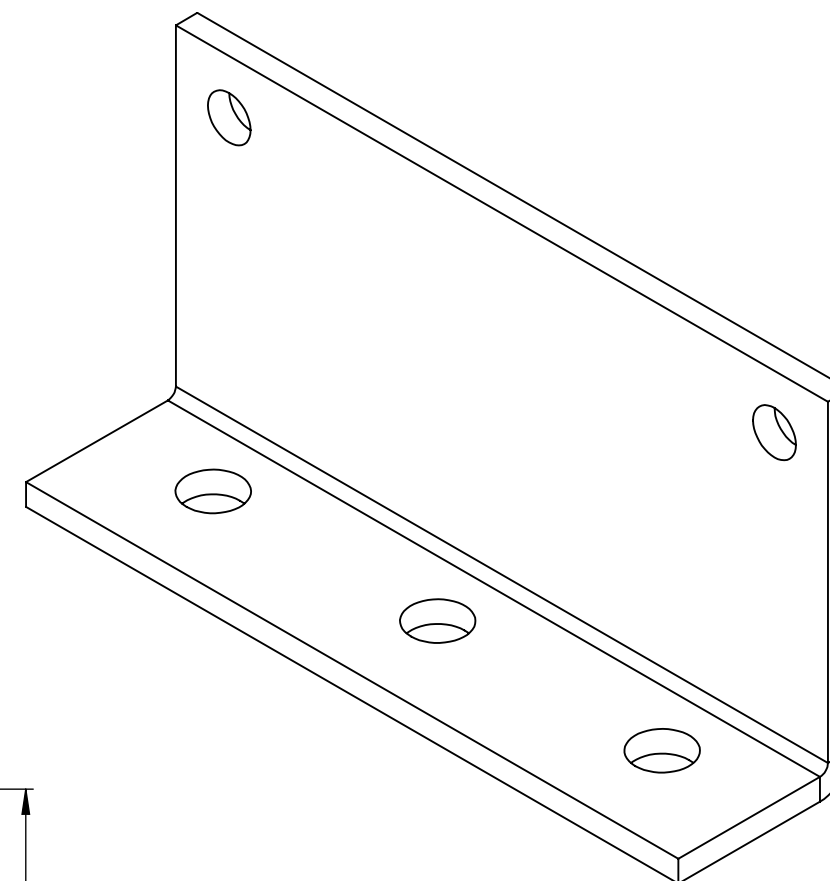
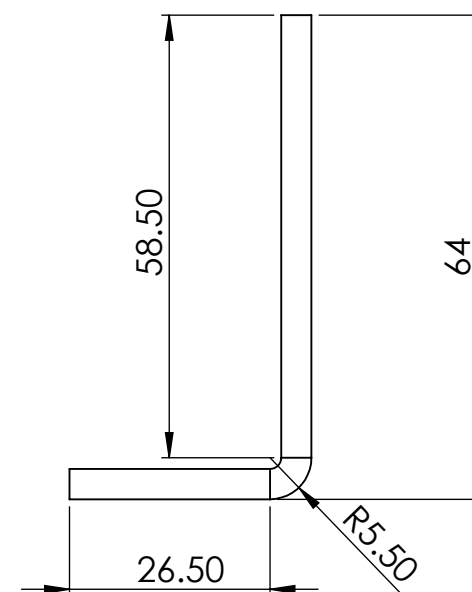
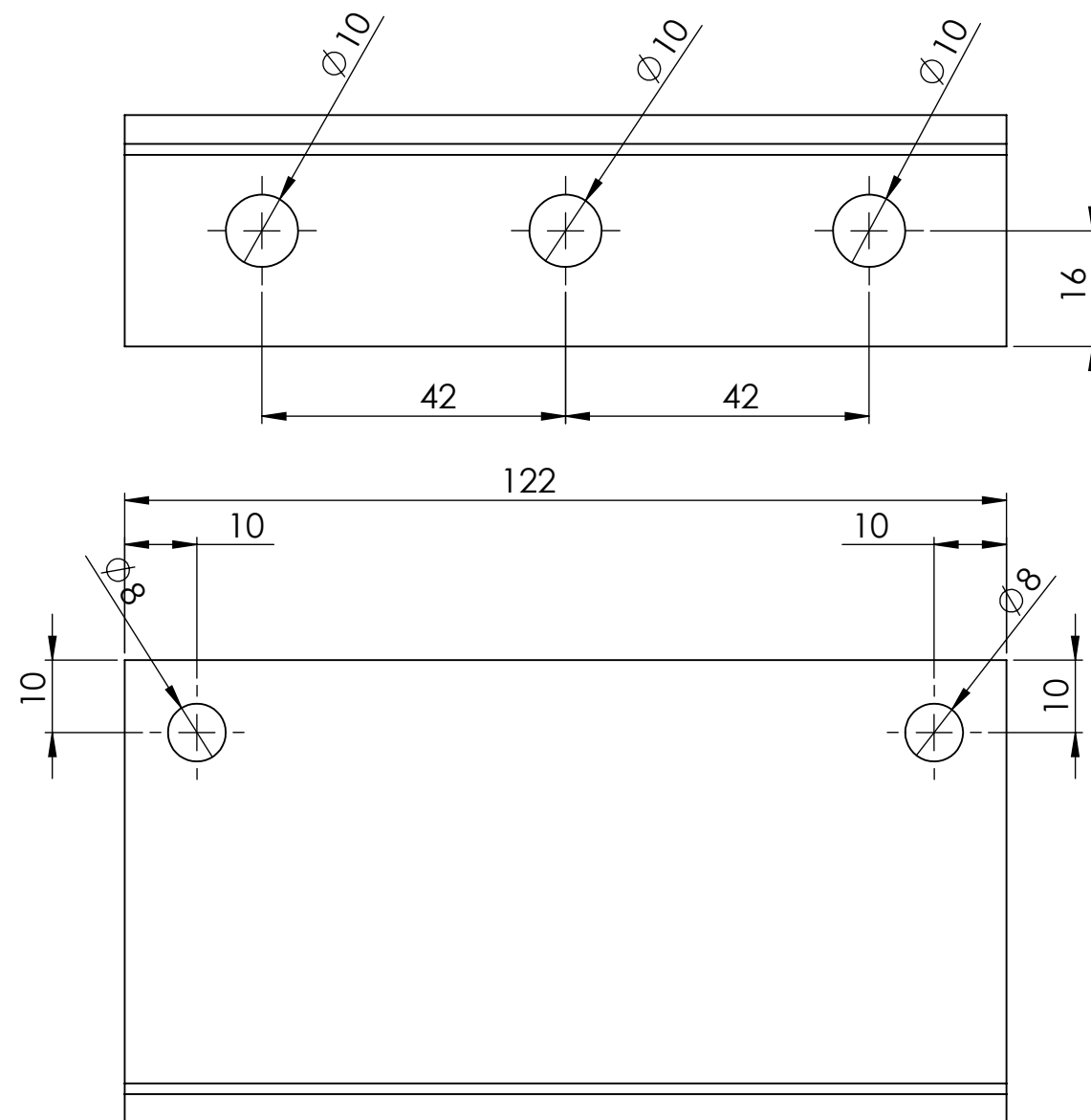
1	Soporte Sensor PT100		ERT-FP-SST	ASTM A36	8	
1	Sensor PT100		ERT-FP-ST2	AISI 304	7	
2	Tornillo cabeza cilíndrica M10 L14mm DIN912				6	
2	Tornillo cabeza cilíndrica M8 L14mm DIN912				5	
1	Soporte Secundario		ERT-FP-SSP	ASTM A36	4	
2	Soporte Principal		ERT-FP-SPP	ASTM A36	3	
2	Tuerca en T GN506 M8			ASTM A36	2	
1	Probeta		ERT-FP-P		1	
No. de Piezas	Denominación		No. plano	Material	No. de Orden	Observaciones
			Acabado Superficial:	PESO:	Ver Elemento	
			TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.786 Kg		
			FECHA	Nombre	TÍTULO: Equipo de Raciación Termica	ESCALA:1:5 A3
			Dib.	Cardenas, Freyner		
			Rev.			
			Apro.			
			 UNIVERSIDAD LIBRE NO ASES MERECE		N.º DE DIBUJO Fijación Probeta	
Edición	Modificación	Fecha				
					ERT-FP 11-17	Dimensiones : mm



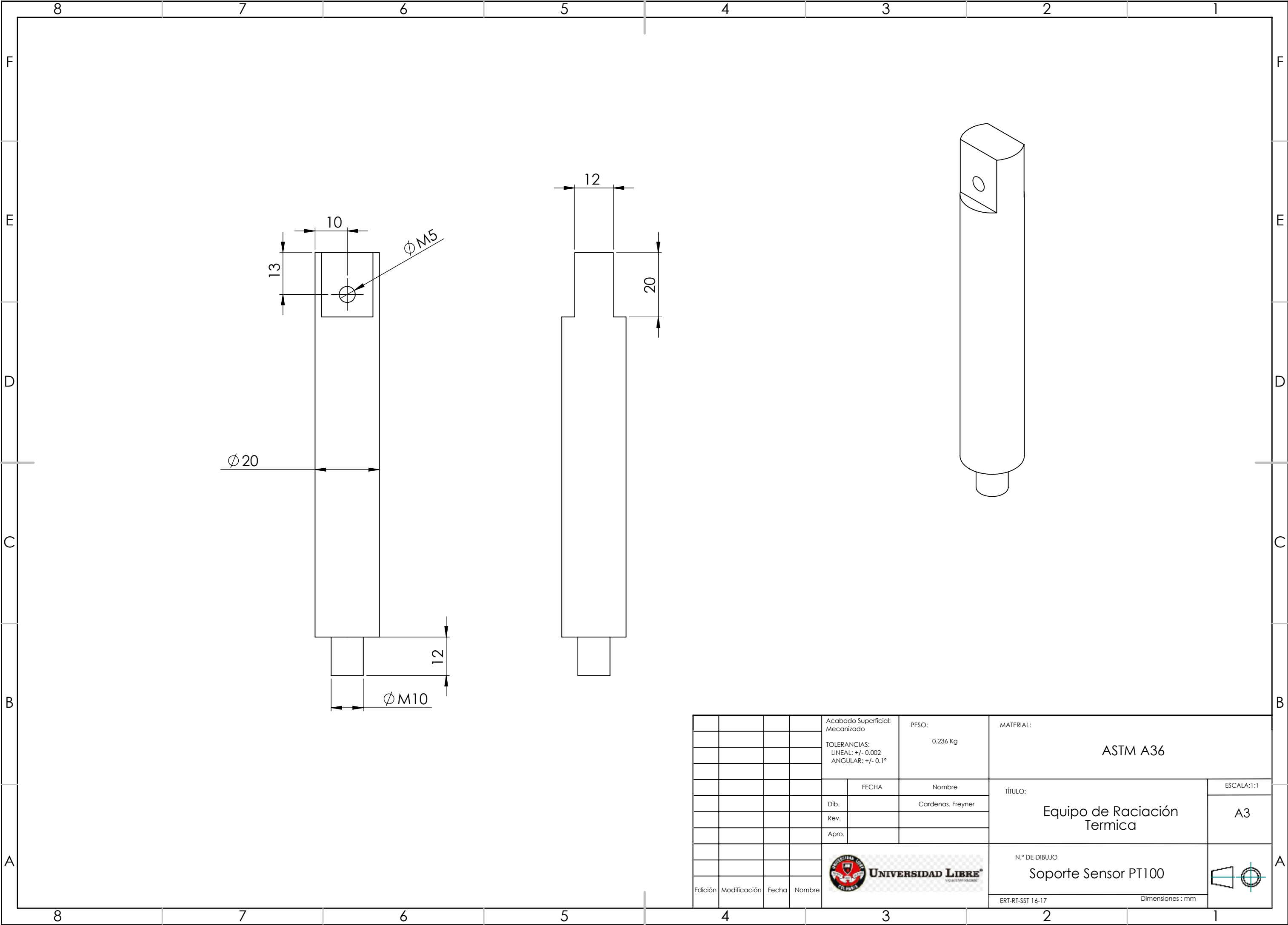


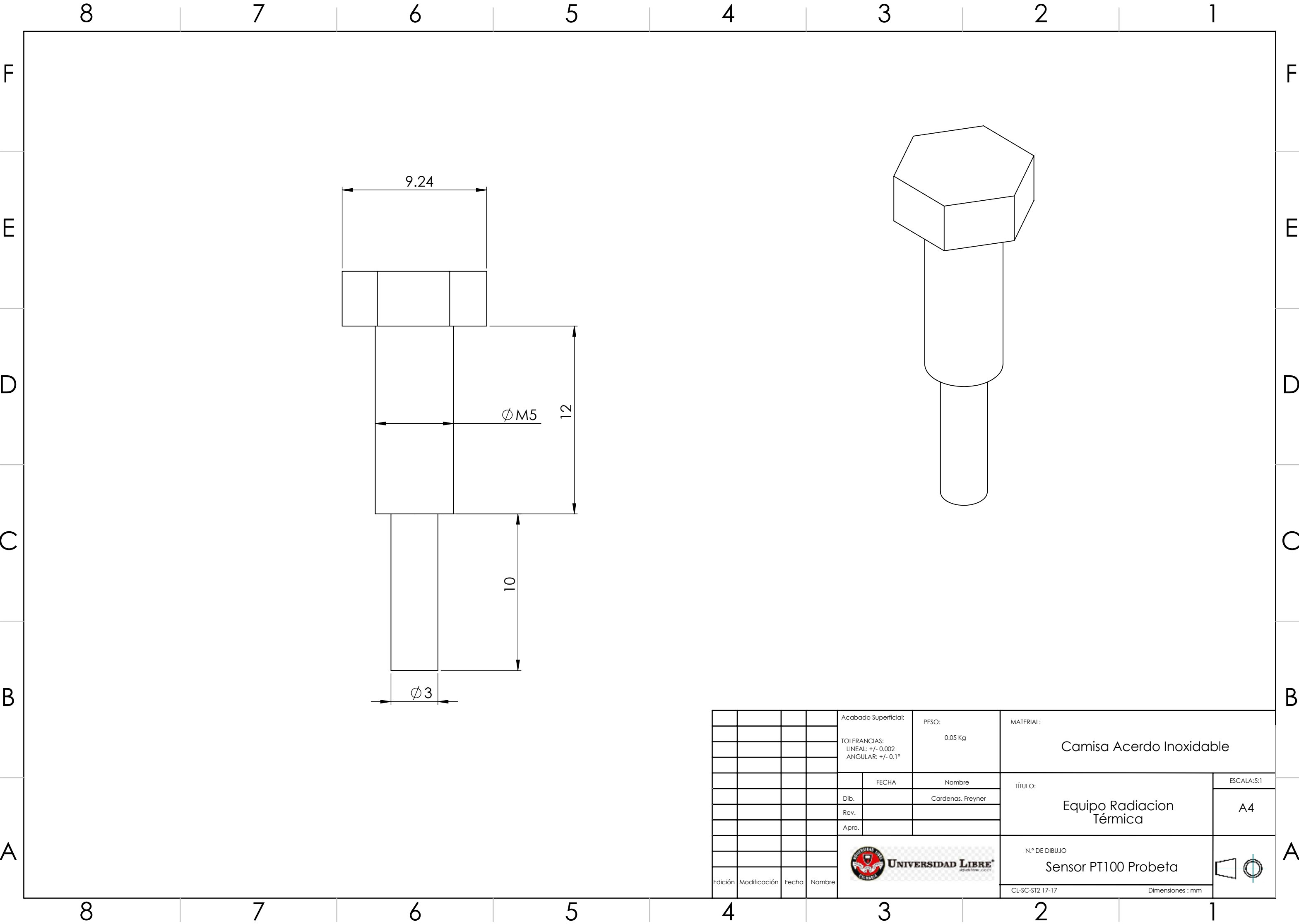



				Acabado Superficial: Mecanizado	PESO: 0.2 Kg	MATERIAL: ASTM A36	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°			



				Acabado Superficial: Mecanizado	PESO:	MATERIAL:	
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.06 Kg	PET	
				FECHA	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:1:1
			Dib.		Cardenas, Freyner	Equipo de Raciación Termica	A3
			Rev.				
			Apro.				
						N.º DE DIBUJO	
						Soporte Secundario Probeta	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD LIBRE® <small>Vigilada por el Estado</small>		ERT-RT-SPP 15-17	Dimensiones : mm





				Acabado Superficial:	PESO:	MATERIAL:		
				TOLERANCIAS: LINEAL: +/- 0.002 ANGULAR: +/- 0.1°	0.05 Kg	Camisa Acerdo Inoxidable		
					FECHA	Nombre	TÍTULO: Equipo Radiacion Térmica	ESCALA:5:1
				Dib.		Cardenas, Freyner		A4
				Rev.				
				Apro.				
				 UNIVERSIDAD LIBRE			N.º DE DIBUJO	
							Sensor PT100 Probeta	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				CL-SC-ST12 17-17	Dimensiones : mm